Алексей Васильевич ШУБНИКОВ

Алексей Васильевич ШУБНИКОВ

SHOUT
SHARE
IT

Annotation

Книга посвящена жизни и творчеству выдающегося советского кристаллографа, основоположника и руководителя новейших направлений в отечественной науке о кристаллах, основателя и первого директора единственного в мире Института кристаллографии при Академии наук СССР академика Алексея Васильевича Шубникова (1887—1970). Классические труды ученого по симметрии, кристаллофизике, кристаллогенезису приобрели всемирную известность и открыли новые горизонты в науке. А. В. Шубников является основателем технической кристаллографии. Книга представляет интерес для физиков, кристаллографов, химиков, математиков, минералогов и для всех, кто интересуется кристаллами и наукой о твердом теле.

-
- Алексей Васильевич Шубников (1887—1970)
- Предисловие редактора
- Глава 1
- Глава 2
- Глава 3
- Глава 4
- Глава 5
- Глава 6
- Глава 7
- Глава 8
- Глава 9
- Глава 10
- Глава 11
- Глава 12
- Глава 13
- Глава 14
- Воспоминания об А. В. Шубникове
- Основные даты жизни и деятельности А. В. Шубникова
- Труды А. В. Шубникова *
- Литература

Алексей Васильевич Шубников (1887—1970)

Ответственные редакторы академик Н. В. БЕЛОВ и профессор И. И. ШАФРАНОВСКИЙ

Алексей Васильевич Шубников. — Л.: Наука, 1984. 222 с.

Утверждено к печати Редколлегией серии «Научно-биографическая литература»

Издательство «Наука», 1984 г.

РЕДКОЛЛЕГИЯ СЕРИИ «НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА» И ИСТОРИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ ИНСТИТУТА ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ АН СССР ПО РАЗРАБОТКЕ НАУЧНЫХ БИОГРАФИЙ ДЕЯТЕЛЕЙ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ:

Предисловие редактора

Прошло более десяти лет со дня смерти Алексея Васильевича Шубникова — одного из наших величайших кристаллографов. Сейчас можно оценить огромный размах его любимой кристаллографии, который возник на гребне мощной научной волны середины XX столетия.

Я познакомился с А. В. Шубниковым в 1937 г. в Кристаллографической лаборатории. Все члены руководимого им коллектива (человек пятнадцать) еженедельно собирались на своеобразных семинарах, ничем не похожих на теперешние семинары, проводимые в Институте кристаллографии. На них обсуждались новинки по специальности и статьи, подготовленные сотрудниками к публикации в Трудах лаборатории, позднее в журнале «Кристаллография».

Именно в эти годы были завершены работы по синтезу крупных кристаллов сахарозы, работы, основной задачей которых было создание достаточно совершенной установки для получения кристаллов, необходимых для науки и техники. Успешно работала созданная научно-техническая мастерская, в которой под руководством и при личном участии Алексея Васильевича разрабатывались новые и совершенствовались существовавшие методы распиловки и обработки различных кристаллов, особенно кварца.

Разнообразные работы А. В. Шубникова и его сотрудников по кварцу нашли свое отражение в созданной им энциклопедии по кварцу и в небольшой талантливо написанной книге «Как растут кристаллы», ставшей настольной книгой для различных лабораторий по -росту и обработке кристаллов, число которых продолжает увеличиваться.

В то же время А. В. Шубниковым в соавторстве с Г. Б. Бокием и Е. Е. Флинтом была создана книга «Основы кристаллографии», революционизировавшая преподавание кристаллографии в высших учебных заведениях. Одновременно вышла увлекательная книга А. В. Шубникова «Симметрия» (Законы симметрии и их применение в науке, технике и прикладном искусстве), иллюстрированная множеством оригинальных рисунков.

Выращивание крупных кристаллов сегнетовой соли с минимальным количеством дефектов привело к созданию специального треста, лаборатории которого размещались в здании, занимаемом Академической лабораторией. Всеми работами руководил А. В. Шубников. К кварцу и сегнетовой соли — основным объектам треста — прибавился также корунд. В то

время никто не мог предположить, сколько подобных лабораторий и даже заводов возникнет в последующие годы.

Началась Великая Отечественная война. Возглавляемая А. В. Шубниковым Кристаллографическая лаборатория АН СССР эвакуируется в Свердловскую область. Знания, опыт и героический труд сотрудников лаборатории вывели ее на одно из первых мест среди работавших на оборону предприятий. Руководитель же лаборатории находил время еще и для научных поисков, к которым всегда имел большую склонность. У него возникла идея объединения с помощью симметрии таких противоположных представлений, как белое и черное, позитив и негатив, плюс и минус. С помощью привлеченных им математиков учение об антисимметрии, кроме макромира, удалось распространить и на микромир — дисконтинуум. Были созданы шубниковские группы, которые в числе 1651 включали как частный случай классические 230 федоровских групп. Вопреки мнению самого создателя новых групп, считавшего, что их практическое использование возможно только через десятилетие, действительность резко сократила этот срок.

Окончилась война. Ощутив потребность в молодых специально подготовленных работниках, созданный А. В. Шубниковым Институт кристаллографии начал готовить собственные кадры сначала на физическом^ факультете Горьковского университета, а затем в Московском государственном университете, где в 1953 г. на физическом факультете А. В. Шубников возглавил кафедру кристаллографии и кристаллофизики.

В последние годы постепенно реализовались планы А. В. Шубникова, казавшиеся многим неосуществимыми. Он мечтал о времени, когда Институт кристаллографии в основном будет представлен не научными работниками, а производственниками, реализующими достижения кристаллографической мысли.

Академик Н. В. Белов

Глава 1
Детство. Годы учения

В блестяще написанных автобиографических заметках «То, что сохранила память» Алексей Васильевич Шубников дал впечатляющую картину своего детства, годов учения, первых научных успехов и дальнейших этапов . пройденного им творческого пути [350, с. 7—35]. Эти заметки положены в основу биографии ученого.

Родители Алексея Васильевича — Василий Михайлович (1845—1889) и Анна Ивановна (1853—1924) Шубниковы — уроженцы Москвы. Отец работал бухгалтером, мать вела домашнее хозяйство, растила шестерых детей, а после смерти мужа стала работать на дому белошвейкой. Она умерла в Москве в возрасте 71 года.

Свои автобиографические заметки Алексей Васильевич начинаете описания характерных бытовых подробностей, окружавших его в детстве. «Я родился в 1887 году в Москве, в Замоскворечье, бывшем в старину окраиной. В квартире, где жила моя семья, не было ни водопровода, ни электрического освещения, ни канализации. Воду привозили в бочке из так называемого бассейна и продавали по копейке за ведро. По вечерам вся семья собиралась вокруг стола — взрослые шили, дети готовили уроки — и все при одной свече» [350, с. 7].

Алексей Васильевич подробно рассказывает о трагической смерти своего отца и о бедственном положении осиротевшей семьи. «Отец мой работал бухгалтером в большой текстильной фирме „Даниловская мануфактура“. Пока он был жив, семья, несмотря на свою многочисленность, жила в относительном достатке. Когда мне было года два, в Москву приехали иностранцы, поднимавшиеся на воздушном шаре, оборудованном весьма примитивно. Проходя по улице, мой отец увидел, что с воздушного шара сбросили веревку для того, чтобы добровольцы из публики взялись за нее, остановили полет шара и дали возможность аэронавтам спуститься на землю. Отец вместе с другими прохожими схватился за веревку, но, споткнувшись, упал и разбил себе ногу. Нога разболелась, началась гангрена, в больнице предложили ногу ампутировать, отец не решился и на 44-м году жизни умер. После его смерти на руках у матери, не имевшей никакой специальности, осталось шестеро детей, я был предпоследним, а последний был грудным» [350, с. 7, 8].

Дальнейшее существование осиротевшей семьи всецело

зависело от матери. Благодаря незаурядной энергии и твердому характеру Анна Ивановна смогла не только вырастить, но и дать образование своим малолетним детям — старшему сыну было девять лет, младшему — несколько месяцев.

Маленькой пенсии, назначенной семье фирмой, где работал отец, было, конечно, недостаточно. Поэтому Анна Ивановна становится белошвейкой. Белошвейки шили на дому белье по вкусу и достатку заказчиц, простое или батистовое, с прошивками и кружевами. На помощь Анне Ивановне приходит ее верный друг — младшая сестра Саша, крестная мать детей. Мужественные женщины надеются вдвоем вырастить шестерых детей и во что бы то ни стало выучить их.

После смерти отца в семье сразу начинает чувствоваться нужда, на счету каждая копейка. Анне Ивановне пришлось переехать в более дешевую квартиру: тесную, холодную, без водопровода, с дымящими печами. Часто от печного угара вся семья мучилась от головной боли, вместо лекарства нюхая тертый хрен.

Анна Ивановна, или, как ее называли дети, «мамаша», вся была поглощена заботами о том, как свести концы с концами, как прокормить, более или менее прилично одеть и обуть всех шестерых детей, как своевременно заготовить продукты и дрова. На сохранившемся от того времени ее портрете — строгое лицо, сурово сжатые губы. Слово мамаши — для всех в семье закон, непререкаемый и непреложный. Во взаимоотношениях с ней полностью отсутствовали всякого рода нежности — ласковые слова, поцелуи. Однако она никогда не прибегала к обычным в те времена телесным наказаниям.

Грамоте детей обучала крестная мать — молодая, добрая женщина. Дети садились с букварем на скамеечку у ее ног, а она, не отрываясь от швейной машинки, слушала спотыкавшееся чтение, поправляла ошибки. За шитьем она часто пела русские песни, одна или вместе с детьми, особенно любила: «Уж ты сад, ты мой сад...». Религиозное воспитание в семье ограничивалось прочтением детьми перед сном краткой молитвы.

Ясно представляется плохо освещенная душная комната. За столом при одной свече собралась вся большая семья — рано постаревшая мать с шитьем в руках и шесть детских головок (три белокурые и три — черненькие), прилежно склонившихся над книжками и тетрадками, — дети учат уроки. Тут же рядом крестная неутомимо строчит на швейной машинке. У всех одинаково серьезные лица, у больших и у маленьких. Ни шалостей, ни смеха, ни болтовни.

На лето московскую квартиру оставляли и в целях экономии

всей семьей, со всем, немудреным скарбом переселялись «на Фили», в деревянную избу, поближе к Москве-реке, где было раздолье для детей: можно удить рыбу, купаться.

Дети постепенно подрастали. Старшего сына Васю «Даниловская мануфактура» определила в Московское коммерческое училище и сама вносила за него плату за обучение. Лизу пристроили в гимназию, Колю — в четырехклассное мещанское училище, Борю — в шестиклассное.

Чрезвычайно застенчивый и тихий маленький Леня (имя Алеша считалось слишком нежным) был любимцем крестной матери и старшей сестры Лизы — красивой, одаренной и волевой девочки. Зародившаяся в раннем детстве крепкая и верная дружба между братом и сестрой сохранилась на всю их жизнь. Леня сначала учился в трехклассном городском начальном училище, а через два года поступил в то же Московское коммерческое училище, которое заканчивал Вася. Однако Платить за его обучение нужно было самим, и это легло непосильным бременем на плечи семьи. Но Лене повезло. Он получил стипендию от попечительского совета училища. Такого рода стипендии распределялись между лучшими учениками по мере поступления денег от богатых московских купцов, покровительствовавших училищу. Иногда купцы оставляли училищу деньги по завещанию, а иногда просто жертвовали их на стипендии для способных и трудолюбивых, но «недостаточных», т. е. бедных учеников. Стипендий было мало, распределялись они путем жеребьевки. И вот «недостаточный» Леня Шубников вытащил из принесенного попечителем красивого мешочка счастливый красный шарик. Вся жизнь мальчика сразу переменилась. Он перебрался жить в училище, где его бесплатно учили, кормили, одевали и обували.

Состав преподавателей в училище был первоклассным, программа обучения обширная. Преподавали физику, органическую, неорганическую, частично аналитическую химию, алгебру, геометрию, для желающих тригонометрию, ботанику и зоологик3, русскую литературу, технологию (изучение различных производств с посещением заводов и Политехнического музея), товароведение (лекции с практическими занятиями в лаборатории), бухгалтерию, законоведение (теорию права), коммерческую корреспонденцию (на трех иностранных языках), географию, историю, рисование, пение, один раз в неделю гимнастику (для старших — фехтование) и даже бальные танцы (два раза в месяц).

В течение всех девяти лет обучения в училище преподавали три иностранных языка — французский, английский и немецкий.

Кроме того, дежурившие по очереди воспитатели, в совершенстве владевшие одним из этих языков, должны были разговаривать с учениками только на соответствующем иностранном языке, исподволь практикуя их в разговорной речи.

Основой установленного в училище поистине железного режима являлось уважение к старшим. Учителя и воспитатели к младшим ученикам обращались на «ты». Начиная с 4-го класса все разговаривали с учениками только на «вы». Ученики шестых классов уже считались «старшими». Младшие ученики так и обращались к ним: «Старший, разрешите мне сделать то-то». Каждому старшему на весь учебный год прикрепляли десять младших мальчиков. Старший следил за порядком в столовой, за тем, чтобы во время завтраков, обедов и ужинов разносившие еду «дядьки» своевременно и поровну всех накормили. Он мог распорядиться дать желающим добавку гарнира. За вечерним чаем старший получал не одну кружку чая, а три, две с сахаром и одну без сахара. Эта третья кружка служила своего рода знаком отличия. Младшие часто обращались к старшему с просьбой: «Старший, разрешите горького?»

Если старший считал младшего достойным, он отдавал ему свою кружку «горького» чая. В училище обучалось около 600 учеников, из них 300 «приходящих» и столько же «живущих». Живущих будили в 6 час. утра. За полчаса они должны были вымыться до пояса холодной водой и одеться. С 6 час. 30 мин. до 8 следовало закончить начатую еще вечером подготовку заданных уроков. В 8 час. парами шли в свою церковь на молитву, потом в большую столовую училища завтракать. Первый завтрак состоял из кружки чая и половины так называемой французской булки. Потом в классах начинались три утренних урока, которые заканчивались в 12 час. После сытного второго завтрака и еще двух уроков- приходящие уходили домой, а живущих в училище учеников под присмотром воспитателя парами вели на двухчасовую прогулку по улицам Москвы. Все ученики носили одинаковую одежду и обувь. Их одевали по-спартански — ни зимних шапок, ни галош, ни теплых носков ни при какой погоде не полагалось. Летом в хорошую погоду живущих выпускали гулять во двор училища. Там им предоставлялась почти полная свобода: они могли бегать, играть, кричать и даже драться. Для приведения в порядок пострадавшей при этом одежды в гардеробной сидели два портных, которые тут же на месте пришивали оторванные полы и рукава мундирчиков.

Тихий и замкнутый Леня почти не принимал участия в шумных играх во дворе училища. Застенчивость мешала ему завести близких друзей среди шаловливых школьных товарищей.

В 18 час. 30 мин. начиналась подготовка уроков на следующий день. В это время в классах должна была соблюдаться полнейшая тишина. Один на весь коридор дежурный воспитатель садился под часами и читал книгу. Если раздавался шум в каком-нибудь из младших классов, например во втором, воспитатель шел в четвертый класс и посылал одного из учеников навести порядок. Облеченный властью четвероклассник мгновенно усмирял шалунов, применяя единственное наказание: «Встань к печке!» Воспитатель вмешивался только в исключительных случаях. Считалось, что в старших классах, где сидят взрослые люди, никакого беспорядка и шума вообще быть не может.

В 20 час. 30 мин. в столовой опять подавали чай с булкой, после которого ученики отправлялись по спальням.

За порядком в спальнях следили ученики шестого класса. Они были заинтересованы в том, чтобы как можно скорее угомонить младших и самим выкроить свободное время до отхода ко сну и успеть почитать. Поэтому порядок в спальнях наводился с необычайной быстротой. К 21 час. 30 мин. наступала полная тишина, все спали.

Чтобы избежать тесноты и толкотни при утреннем умывании Леня Шубников вставал на час раньше. В 5 час. утра, обычно еще в полной темноте, он умывался и отправлялся в гимнастический зал или в свой класс. В зале он бегал один на гигантских шагах, любовался восходом солнца. Ему нравилось, что из освещенной комнаты небо и дома казались синими. В классе он играл на гитаре, читал или готовил уроки, наслаждаясь, по его собственным словам, тишиной и одиночеством.

Учение давалось Лене легко. Больше других предметов он любил физику, химию и математику, особенно геометрию. Первыми двумя предметами Леня увлекался с раннего детства. Проделываемые им химические опыты доставляли домашним много беспокойства, так как часто приводили к взрывам и всегда отравляли воздух в комнате. Однако мамаша никогда не препятствовала «научным занятиям» сына. Она только просила не ставить опытов, опасных для жизни.

С самого раннего детства Леня глубоко любил музыку. С восторгом слушал мальчик пение крестной, тихонько ей подпевая. Осторожно трогал струны отцовской гитары. Однако после смерти отца гитару скоро продали. Тогда семилетний Леня сам сделал себе музыкальный инструмент. На коробку из-под конфет он натянул старые тонкие резинки от подвязок и «настроил» их. Ложась спать, он укладывал коробку на ухо и, перебирая «струны», наигрывал несложные мотивы.

В училище, кроме пения, преподавали теорию музыки,

сольфеджио и даже писали музыкальные диктанты. Обладавший абсолютным слухом, Леня Шубников всегда первым заканчивал и первым подавал преподавателю диктант, чем втайне очень гордился. Благодаря своему слуху он был принят «дишкантом» в церковный хор училища, пользовавшийся в Москве большой и заслуженной славой. У московских купцов и даже в кругах интеллигенции считалось «хорошим тоном» под праздники слушать «ангельское» пение мальчиков в церкви Коммерческого училища и посещать изредка устраиваемые в его актовом зале концерты светской оперной музыки, исполнявшиеся тем же церковным хором.

«Певчие» пользовались в училище некоторыми привилегиями. Их иногда водили в театр, обычно в драматический театр Корша. Изредка бывали они и в Большом театре на оперных спектаклях. Перед церковными службами и перед посещениями театра мальчики, надев парадные мундирчики, должны были предстать перед дежурным гардеробщиком для наведения чистоты и лоска. Гардеробщик надевал на руку большую жесткую щетку на ремне и набирал полный рот кваса. Поворачивая мальчика перед собой, он щедро обрызгивал его квасом с головы до ног, а затем тщательно чистил щеткой.

В училище Леня зачитывался популярными книжками, в которых были описаны опыты Фарадея и других физиков. Эти опыты он всегда старался повторить сам. «С самого раннего возраста я стал заниматься опытами по статическому электричеству. Отрезав подошву от старой галоши, я стал заряжать ее, натирая о горячую изразцовую печку. Потом сконструировал электрофор, с помощью которого заряжал лейденскую банку собственного изготовления. Зарядив ее, я пригласил своих многочисленных братьев и сестру образовать круг. Круг этот замыкал я, держа в руках лейденскую банку и пропуская искру через всех участников опыта. Как сейчас помню, сколько было при этом визга, крика и смеха» [350, с. 13].

Среди Лениных школьных товарищей был один мальчик, как и Леня, увлекавшийся геометрией. Вдвоем они забирались на школьный чердак, что строго запрещалось, и там, в уединении, тишине и спокойствии, отделенные от всего мира пыльными перегородками и старой мебелью, друзья с увлечением решали геометрические задачи.

В одном классе с Леней учился Коля Вавилов, будущий выдающийся ученый, генетик-селекционер, академик Николай Иванович Вавйшов. Мальчики мало общались друг с другом. Коля был приходящим учеником, Леня — живущим. Леню поражала

лишь способность четырнадцатилетнего мальчика иметь и высказывать свое собственное твердое мнение о разбиравшихся в классе литературных произведениях. В одном из младших классов учился младший брат Коли Вавилова — Сережа, будущий прославленный физик, президент Академии наук СССР.

Уже в шестом классе Лене Шубникову с большим трудом и непосильными для него затратами удалось построить электрофорную машину. Труднее всего было изготовить без помощи алмаза необходимые для машины стеклянные диски. Леня додумался с обеих сторон стекла приклеить мокрую газету, а затем по шаблону откусывать от него плоскогубцами маленькие кусочки. В центре вращаемого диска клеем-синдетиконом он приклеил большую катушку от ниток, на которую надел старый ремешок от швейной машины. С помощью этого ремешка, самодельной рукоятки и деревянного блока диск приводился в движение, давая довольно большие искры.

Слух о том, что Шубников «делает электрические машины» дошел до маленького Сережи Вавилова. Вскоре Леня получил заказ изготовить такую машину для Сережи и «громадную сумму денег» — пять рублей на материалы и за труды. Через две недели будущий физик стал обладателем одного из первых в его жизни физических приборов. «Как знать, — вспоминал впоследствии Алексей Васильевич, — может быть, именно эта машина сыграла известную роль в выборе Сережей своей специальности» [350, с. 15].

Серьезное увлечение точными науками и живой интерес к литературе и искусству способствовали успешному усвоению Леней большинства предметов, преподававшихся в училище. Он был одним из лучших учеников своего класса.

В 1906 г. Алексей Шубников заканчивает полный курс Коммерческого училища и получает звание «кандидата коммерции». Полученная по окончании Коммерческого училища серебряная медаль и изученный самостоятельно латинский язык открыли перед юношей двери Московского университета.

Но на что жить самому и как помочь семье? И вот, отрастив для солидности бороду, Леня начинает давать уроки. Труд репетитора — тяжелый труд. Ведь способные дети в репетиторах не нуждались!

С юмором и горечью вспоминал А. В. Шубников двух своих самых первых учеников — сынков богатых купцов. Первый из них, не желавший учиться принципиально, вывел своего учителя из терпения и заработал от него хорошего тумака. Хотя отец ученика вполне одобрил такой метод преподавания, учитель от уроков отказался. Второй ученик из-за своей исключительной тупости

вообще ничего не мог понимать и только артистически шевелил ушами. Этому искусству он обучил своего молодого учителя, но сам соображать так и не научился.

Отсутствие так называемого «имущественного ценза», т. е. какого-либо имущества или твердого заработка, помешало старшей сестре Елизавете поступить на Высшие женские курсы. Ей пришлось открыть у себя на дому школу для десяти детей, которых она сама учила всем школьным предметам. Появившаяся в связи с этим на дверях квартиры вывеска дала возможность Лизе получить разрешение для поступления на курсы. Леня показывал ученикам сестры оригинальные «фокусы» по электричеству и магнетизму [5, 9].

С какого же времени маленький физик и математик, юный поклонник музыки прикоснулся к волшебному миру кристаллов, поглотившему в дальнейшем все его интересы и ставшему путеводной звездой всей его долгой жизни?

«Однажды на уроке химии, — вспоминал А. В. Шубников, — учитель показал нам кристаллы разных веществ, в том числе медного купороса. До сих пор помню, какое сильное впечатление они на меня произвели. Я записал в дневник, что должен обязательно разобраться в том, почему в процессе кристаллизации образуются многогранники. При первой возможности я стал посещать популярные лекции по кристаллографии, которые читал в Политехническом музее профессор Ю. В. Вульф. Вульф был прекрасным лектором, читал лекции вполне понятным и доступным языком, сопровождая их демонстрацией моделей кристаллов и самих кристаллов. Кристаллы он показывал на экране с помощью проекционного фонаря» [350, с. 12].

Уже с этого времени Леня Шубников стал горячим поклонником профессора, а впоследствии — его верным учеником и последователем.

Глава 2
Московский университет

О своем поступлении в Московский университет и твердо осознанном выборе факультета А. В. Шубников, писал так: «В 1908 году я был принят на естественное отделение физико-математического факультета Московского университета, избрав для изучения цикл физико- химии с определенным желанием специализироваться по кристаллографии, к которой меня привлекло сочетание трех любимых предметов: математики, физики и химии» [350, с. 16].

Он помнил каждого из блестящей плеяды профессоров, преподававших тогда в университете: «Мне посчастливилось слушать лекции многих выдающихся профессоров: Крапивина, Зелинского, Каблукова, Лебедева, Эйхенвальда, Умова, Вернадского, Ферсмана, Самойлова, Вульфа» [350, с. 16].

На первом курсе Шубников посещал решительно все лекции, обязательные и даже необязательные. Интерес к кристаллографии все возрастал. Поэтому, преодолев застенчивость и «великий страх», он обратился к заведующему кафедрой минералогии профессору В. И. Вернадскому с просьбой дать ему самостоятельное задание по кристаллографии и выразил желание работать под его руководством.

Своего учителя Владимира Ивановича Вернадского он называл основоположником геохимии, биогеохимии, радиогеологии, великим реформатором минералогии. О его работах в области кристаллографии сказано очень мало. Следует, однако, иметь в виду, что в начале своего творческого пути В. И. Вернадский собирался всецело посвятить себя науке о кристаллах. Темой для магистерского сочинения он избрал вопрос о физических свойствах изоморфных смесей (1885 г.). Во время своей первой заграничной командировки молодой ученый слушал лекции и работал у таких выдающихся кристаллографов того времени, как П. Грот, Л. Зонке, Э. Маляр и др. На родину он возвратился пламенным поборником передовых идей в области теоретической кристаллографии.

Сущность читавшегося им в Московском университете новаторского курса кристаллографии он описывал следующим образом: «Кристаллография была отделена от минералогии и рассматривалась как часть физики — учение о твердом состоянии вещества. Уже в 1891 году были введены в преподавание современные представления о строении кристаллов; 32

кристаллических класса рассматривались как разные фазы твердого состояния материи».[* Вернадский В. И. Из истории минералогии в Московском университете. — Сб.: Очерки по истории геологических знаний, 1956, вып. 5, с. 180.]

В докторской диссертации В. И. Вернадского — капитальной монографии «Явления скольжения кристаллического вещества» (1897 г.) —кристаллы рассматривались не как отвлеченные геометрические системы, а как реальные физические тела.

Большим успехом у студенчества пользовались его «Основы кристаллографии» (1904 г.), открывающиеся замечательным по глубине и широте подхода очерком исторического развития науки о кристаллах. Этот прекрасный очерк впоследствии был высоко оценен А. В. Шубниковым.

В «Основах кристаллографии» В. И. Вернадского проводились идеи о приложении физико-химических основ к кристаллографии. Естественно, что этот выдающийся ученый привлек особое внимание Шубникова, и последующая работа с ним во многом предопределила дальнейший научный путь Алексея Васильевича: «В. И. Вернадский велел мне изобразить один из кристаллов в стереографической проекции. Я встал в тупик, так как никогда не слышал о существовании такой проекции, и решил узнать о ней у А. Е. Ферсмана. Когда я пришел к Александру Евгеньевичу, он сидел в темной комнате у гониометра. Я приоткрыл черную занавеску и задал Ферсману вопрос о стереографической проекции. Он с раздражением крикнул мне: „Маляра смотрите, Маляра...» [350, с. 18].

В те годы Александр Евгеньевич, будучи всего на четыре года старше Шубникова, был уже ближайшим помощником В. И. Вернадского. Готовясь к магистерскому экзамену, он работал над завершением монографии об алмазе, начатой им под (руководством В. Гольдшмидта в Гейдельберге. В этой монографии А. Е. Ферсман выступил как подлинный минералогический кристаллограф, использовавший морфологические особенности алмазных кристаллов для выводов об их генезисе. Казалось бы, он должен был стать ближайшим наставником Шубникова. Однако в то время этого не произошло. Лишь значительно позднее А. Е. Ферсман сыграл решающую роль в жизни Алексея Васильевича, пригласив его на работу в Академию.

«Когда я постигал стереографическую проекцию по Маляру, — продолжает свой рассказ А. В. Шубников, — в комнату вошел Ю. В. Вульф, возвратившийся в то время из Варшавы и начавший работать на кафедре В. И. Вернадского, где он читал, в частности, курсы кристаллооптики и геометрической кристаллографии.

Увидев, чем я занимаюсь и как черчу проекцию, Вульф сказал, что можно сделать это гораздо проще, если воспользоваться придуманной им стереографической сеткой. Применив эту сетку, я сразу и легко усвоил суть стереографической проекции» [350, с. 18, 19]

Нет ничего удивительного, что после этого Шубников решил изучать кристаллографию «во всем ее объеме и разнообразии» под руководством Ю. В. Вульфа, лекциями которого он восхищался еще будучи учеником Коммерческого училища.

Однако на первых порах ему удалось с честью справиться с заданием В. И. Вернадского, вырастив кристаллы семиводного цинк-сульфата и определив их симметрию. «В то время на кафедре техника выращивания находилась на самом низком уровне. Кристаллы получались очень невысокого качества, так как рецептов для их выращивания не существовало...» [350, с. 18, 19].

Симметрия выращенных Шубниковым кристаллов оказалась другой, чем предполагал В. И. Вернадский. Первая работа юного экспериментатора получила высокую оценку на кафедре. Однако, по его собственным словам, эта работа его не удовлетворяла. Нужно сказать, что и в дальнейшем А. В. Шубников не увлекался гониометрией кристаллов, занимавшей первенствующую роль в классической кристаллографии прошлого. Его интересовали перспективы науки, сулившие открытия новых закономерностей. Широкие горизонты открылись ему после того, как он ознакомился с курсами, читавшимися Ю. В. Вульфом. «Прослушав эти курсы, я окончательно и бесповоротно стал поклонником Вульфа», — писал А. В. Шубников. На всю жизнь запомнилась ему характерная деталь:

«...в единственной принадлежавшей ему (Вульфу, — Я. Ш., И. Ш.) в университете комнате стоял токарный станок, на котором он сам и работал. С помощью этого станка Вульф изготовил кристаллизатор, вращавшийся по горизонтальной оси» [350, с. 19]. Весьма любопытен творческий облик человека, оказавшего огромное влияние на становление научных интересов и основного направления в кристаллографии, развитого непосредственно А. В. Шубниковым. «Ю. В. Вульф не принадлежал к распространенному типу ученых, которые приобретают известность в науке в значительной мере своей усидчивостью, организаторскими способностями, умением сосредоточиться на одной определенной идее. У него была поразительная способность быстро ориентироваться в совершенно новых для него областях науки, попадать, как говорится, в самую точку» [350, с. 19].

В качестве примеров, иллюстрирующих сказанное, приведем лишь два факта, получивших наибольшую известность. Создание Е. С. Федоровым двукружного (теодолитного) гониометра породило ряд исследований Вульфа в области теодолитного метода, увенчавшихся изобретением знаменитой стереографической сетки, известной во всем мире под названием «сетки Вульфа». Кстати, здесь нельзя не подивиться тому, что А. Е. Ферсман на вопрос Алексея Васильевича о стереографической проекции рекомендовал ему громоздкое руководство французского кристаллографа прошлого века Э. Маляра вместо того, чтобы направить его к работавшему на кафедре Ю. В. Вульфу. И еще. После открытия в 1912 г. М. Лауэ дифракции рентгеновских лучей в кристаллах Ю. В. Вульф с увлечением начал разрабатывать новую научную область и создал общеизвестную основную формулу рентгенометрии, носящую ныне название «формула Брегга- Вульфа».

В свое время Ю. В. Вульф сыграл огромную роль в деле перенесения кристаллографии из круга геолого-минералогических дисциплин в область физики. В статье «Образ А. Е. Ферсмана по личным воспоминаниям» [153] А. В. Шубников красочно описал дискуссии между Вульфом и Ферсманом по поводу роли кристаллографии. А. Е. Ферсман преувеличивал значение минералогии в кристаллографии, Вульф, наоборот, преуменьшал ее, считая кристаллографию частью физики, а минералогию — частью химии, даже прикладной химии. В дальнейшем «А. Е. Ферсман говорил иногда по нашему адресу: „Ах, уж эти физики! Мы им еще покажем![44]» [350, с. 519, 520]. Из этой фразы явствует, что уже в то время А. В. Шубников всецело примкнул к научным взглядам Вульфа и стал горячим сторонником физического направления в кристаллографии.

Как отмечалось выше, Ю. В. Вульф был блестящим экспериментатором, собственноручно изготовлявшим аппаратуру и приборы для своих опытов. При этом он любил повторять известные слова П. Н. Лебедева: «Физик должен уметь пилить топором и рубить пилой». Уменье мастерски работать напильником, рубанком, токарным резцом Вульф сумел передать и юному Шубникову.

Высоко ценил Алексей Васильевич творческий подход Вульфа к чтению кристаллографических курсов. «Свои лекции Вульф строил не на традиционном разглядывании со всех сторон деревянных моделей кристаллов и не на писании мелом на доске, а на демонстрации явлений, происходящих в „живых" кристаллах, часто с помощью микропроекции» [350, с. 20].

Навсегда запомнились начинавшему кристаллографу

предельная простота и ясность в изложении профессором труднейших кристаллографических вопросов. Блестящие популярные книги Вульфа «Жизнь кристаллов» и др. он считал примерами того, как надо писать для широких читательских кругов.

Прослушав на первом курсе университета лекции Ю. В. Вульфа, Шубников предложил профессору свои услуги в качестве «помощника на все руки». Вульф принял его и сразу же поручил студенту вырастить кристаллы бихромата калия с помощью уже упомянутого выше только что сконструированного вращающегося кристаллизатора. С большим интересом взялся Шубников за эту работу. Вырастив кристаллы, он пришел к выводу, что, вопреки данным Грота, кристаллы бихромата калия, судя по их морфологии, не имеют центра симметрии. Спор между кристаллографами по этому вопросу продолжался не один десяток лет. Лишь значительно позднее правота А. В. Шубникова в этом вопросе была полностью доказана.

Первая научная работа А. В. Шубникова по кристаллографии «О симметрии кристаллов бихромата калия» [10] была опубликована в 1911 г. В том же году вместе с другими прогрессивно настроенными профессорами Московского университета Ю. В. Вульф в знак протеста против жестокого приказа министра Кассо покинул университет и перешел на работу в Народный университет имени А. Л. Шанявского. В этом университете в течение двух лет проработал и А. В. Шубников, сначала в качестве внештатного помощника Ю. В. Вульфа, а с 1913 г. уже в качестве ассистента, официально избранного на эту должность.

29 мая 1912 г. А. В. Шубников окончил Московский университет по физико-математическому факультету и 30 мая 1913 г. получил диплом, в котором по всем предметам была одна отметка «весьма удовлетворительно».

Ко времени окончания университета интересы молодого Шубникова полностью определились. Он твердо решил всецело посвятить себя кристаллографии — науке, которой он отдал всю свою творческую жизнь.

Глава 3
Военная служба. Первая мировая война. Возвращение к научной работе

По окончании университета А. В. Шубников должен был проходить обязательную воинскую службу в качестве вольноопределяющегося первого разряда. Чтобы не прерывать работу в лаборатории Ю. В. Вульфа и продолжать давать уроки для заработка, он сделал все необходимое для зачисления его в Третий Перновский гренадерский московский полк.

Надолго запомнилась А. В. Шубникову военная муштра, с которой ему пришлось столкнуться в этом полку. Шагистику, гимнастику, ружейные приемы, изучение\ винтовки и военного устава вольноопределяющиеся первого разряда проходили Цод руководством вольноопределяющихся второго разряда, имевших среднее или незаконченное среднее образование и служивших в армии в течение двух лет. Как правило, такие «начальники» стремились показать свою власть над новичками, носящими университетские значки.

Однажды при очередном занятии «начальник» заставлял Шубникова бесконечное число раз повторять один и тот же ружейный прием. Он командовал: «На плечо» и тут же: «Отставить», снова: «На плечо», опять: «Отставить» и т. д. Доведенный до бешенства умышленными придирками ученик вместо приема «На плечо» сделал выпад штыком прямо по направлению к животу «учителя». Тот остолбенел, но, очевидно, понял, что перегнул палку, и оставил ученика в покое, не передав дело в военный суд, как следовало по закону.

Однако служба в армии имела и положительную сторону. Шубников оценил ясность, четкость и непреложность ряда пунктов воинского устава, определявшего каждый шаг жизни командиров и солдат. Особенно нравилось ему правило, по которому в случае гибели, ранения или отсутствия командира какого-либо подразделения им начинает командовать оставшийся невредимым старший по званию. Это правило он часто цитировал и старался применять в своей дальнейшей «штатской» жизни. С этих времен сохранилось, например, одно из любимых правил А. В. Шубникова: «стрельба состоится при всякой погоде», что значило: «задуманное должно быть осуществлено при всех условиях, не может быть ни отложено, ни отменено». Этим

правилом он руководствовался прежде всего сам. Он никогда не опаздывал, никогда не откладывал намеченного дела, требовал такой же пунктуальности от своих сотрудников и от членов своей семьи, сам подавая всем пример.

К концу 1913 г. А. В. Шубников сдал все военные экзамены и получил чин прапорщика запаса. Пройдя весной 1914 г. военный сбор, он мечтает вернуться к научной работе. Однако лето 1914 г. застало его уже в действующей армии. В первые дни войны с Германией он был мобилизован и направлен в пограничный город Вержболово.

В опубликованных воспоминаниях А. В. Шубникова о военной службе нет описания геройских подвигов, да он их и не совершал. Ясно одно: свой воинский долг он выполнял неуклонно и добросовестно.

В одном из боев с немцами прапорщик Шубников был тяжело ранен пулею в живот. Он упал и остался лежать на «ничьей» земле, где начиналось наступление немецкой пехоты. Наши солдаты не оставили его в беде, подняли, понесли на руках и при первой возможности попытались перевязать его бинтом из индивидуального пакета. Тут выяснилось, что сапоги и брюки раненого полны крови, а ноги не двигаются. Раздетого и кое-как перевязанного солдаты потащили его дальше, положив на шинель, и сдали в ближайший полевой госпиталь. Там ему была сделана первая настоящая перевязка.

После долгих мытарств ослабевшего от потери крови раненого доставили на носилках в другой полевой госпиталь, где его впервые осмотрел врач. В этом госпитале, лежа с закрытыми глазами, раненый услышал от врача свой смертный приговор, произнесенный по-латыни. «Вот, — сказал врач, — ты лежишь здесь и даже улыбаешься, а не знаешь, что дни твои сочтены». Несмотря на такой приговор, раненого все же погрузили в санитарный поезд и отправили в Варшаву, в госпиталь. Проснувшись на следующее утро на верхней полке вагона, раненый увидел в окно «розовый мир». Это восходящее солнце окрасило в розовый цвет выпавший ночью первый снег. «Тут я почувствовал, — писал в своих воспоминаниях А. В. Шубников, — что буду жить» [350, с. 26].

В варшавском госпитале рану «заштопали», и она более или менее затянулась. Врачебная комиссия предоставила прапорщику Шубникову двухнедельный отпуск для поездки домой. Тут выяснилось, что в отпуск ему ехать не в чем: брюки и сапоги остались на поле боя, госпиталь обмундирования не выдавал, а купить новое было не на что, так как аттестат на деньги затерялся. Тогда сосед по палате толстый полковник отдал

прапорщику свои брюки. В этих необъятной ширины брюках, в чужих сапогах и с забинтованной из-за нарыва головой Алексей Васильевич предстал в Москве перед своей матерью, которая, увидев его в дверях в таком виде, едва не упала в обморок.

Вскоре подошел срок возвращаться в действующую армию, в свою прежнюю часть, которая в это время стояла в деревне на отдыхе, ютясь в грязных, холодных, наполненных насекомыми избах. В этой обстановке наспех залеченная рана очень скоро снова открылась,и Шубников снова попал в варшавский госпиталь, где врачебная комиссия признала его на этот раз негодным к строевой службе.

Чем только ни занимался А. В. Шубников на нестроевой военной службе: и наблюдением за военнопленными, и закупкой и доставкой коров для снабжения армии. Под конец он попал на сенопрессовалку. Однако «работать» на ней он категорически отказался, так как и сенопрессовалка и само сено существовали только на бумаге. Тогда Главное артиллерийское управление направило его в качестве войскового химика на частный химический завод «Любимов и Сольве», находившийся в Екатеринославской губернии. На этом заводе, производившем во время войны мелинит, А. В. Шубников проработал около трех лет в качестве приемщика готовой продукции. Там же в специальной заводской школе он преподавал физику и химию и принимал самое деятельное участие в «добровольном обществе» по организации средней школы для детей рабочих и служащих завода.

А. В. Шубников и О. М. Шубникова-Лебедева. 1914 г.

В 1915 г. из Москвы к нему приехала невеста Ольга Михайловна Лебедева, и вскоре была отпразднована их свадьба. Там же на заводской квартире в 1916 г. родилась их старшая дочь Лена, в трехлетием возрасте погибшая от дизентерии. Свою дочку Алексей Васильевич очень любил. Ее смерть была для него большим ударом.

После свержения самодержавия и присяги недолго просуществовавшему Временному правительству начавшаяся на Украине частая смена властей заставила А. В. Шубникова уйти с завода, часто работавшего даже неизвестно на кого. Он уехал в Москву и там вернулся к научной работе в Народном университете им. А. Л. Шанявского под руководством Ю. В. Вульфа.

Глава 4
Екатеринбург

19 октября 1920 г. декретом, подписанным В. И. Лениным, в Екатеринбурге (ныне Свердловск) был создан Государственный университет, в состав которого на правах факультета вошел ранее существовавший в этом городе Горный институт. Хозяйничавшие до 1919 г. в Екатеринбурге белогвардейцы и их единомышленники в институте разрушили здание, разграбили и практически уничтожили все его оборудование.

Таким образом, осенью 1920 г. Екатеринбургский горный институт переживал как бы эпоху своего второго рождения. Взамен разрушенного удалось подыскать новое здание, но где взять для института квалифицированные научные кадры, где и как добыть необходимое оборудование? Ректорат решил направить в Москву и Петроград специальную комиссию, которая должна была подыскать и пригласить на работу в Екатеринбург преподавателей, а также приобрести нужное оборудование.

В качестве одного из таких преподавателей и был приглашен 33-летний А. В. Шубников, который, недолго думая, дал свое согласие. Его увлекла идея организации новой кафедры кристаллографии во вновь создаваемом научном центре горно-промышленного Урала. С ним вместе была приглашена и его жена Ольга Михайловна Шубникова-Лебедева, работавшая по минералогии Урала.

После двадцатидневного путешествия в насквозь промерзшей теплушке, молодой ученый с женой и маленькой дочкой Верой [* Вера Алексеевна Шубникова (р. в 1918 г.) — ныне художник, член Союза художников СССР, специалист по созданию декоративных тканей.] добрался до Екатеринбурга, где первое время пришлось жить в тесной и душной дворницкой. Через несколько дней им была предоставлена отдельная комната, служившая и лабораторией, в которой А. В. Шубников немедленно приступил к чтению лекций по кристаллографии. Вскоре Горный Институт переехал в новое здание. Кафедра кристаллографии получила две комнаты, правда, пустые, без окон и дверей. Начинать приходилось в буквальном смысле слова на пустом месте.

Здесь впервые А. В. Шубников в полной мере проявил свои незаурядные организаторские способности. Он личным примером показывал, как при необходимости научный руководитель, не гнушаясь никакой самой грязной и трудной работой, может сам убирать строительный мусор, плотничать, столярничать и

слесарить. Глядя на него, в самозабвенный труд по созданию новой кафедры включились и остальные преподаватели и студенты. Работа закипела. После изготовления и установки дверей, окон, витрин и приведения в порядок помещений приступили к приготовлению моделей и приборов, необходимых для чтения лекций и занятий по кристаллографии и кристаллооптике. Здесь столкнулись с новыми трудностями — с отсутствием приспособлений для работы с поляризационным микроскопом.

Счастливый случай свел А. В. Шубникова с уральским «горщиком» В. В. Шахминым, дружба с которым продолжалась до конца жизни Алексея Васильевича. Что такое «горщик»? В дореволюционное время горщики занимались поисками, добычей и обработкой драгоценных и полудрагоценных камней. С первыми теплыми днями горщики отправлялись в непроходимые лесные дебри Урала. Там, в только им известных заповедных местах они вручную копали ямы, так называемые копушки, и добывали нужные камни. В течение зимы из этих камней кустарным способом они изготовляли ювелирные изделия и различные безделушки. Шахмин не только оказал Шубникову большую помощь в изготовлении необходимых кафедре точных приборов и приспособлений, но и обучил его самого в своей примитивной мастерской всем тайнам своего ремесла: резке, огранке, шлифовке и полировке камней. В свою очередь Шубников познакомил горщика с более легким и совершенным методом шлифовки и полировки шлифов горных пород и даже изготовления остродефицитных в то время кварцевых клиньев для оптического исследования кристаллов.

С этого времени Алексей Васильевич пристрастился к работе руками. Приобретенные им навыки помогли ему в дальнейшем при осваивании техники изготовления пьезокварцевых препаратов и дали возможность теоретически обосновать и создать научные основы механической обработки твердых минералов и горных пород. На тему о шлифовке и полировке камней тогда же и впоследствии им был написан ряд научных статей [26—28].

Сортируя с помощью сит наждаки, необходимые для проводимых им самим шлифовальных работ, Шубников обратил внимание на явление «муара», наблюдаемое при наложении двух сит друг на друга. В дальнейшем он связал это явление с законами симметрии и вывел ряд закономерностей, относящихся к интерференции волн. Значительно позднее этот цикл работ завершился статьями по растровой оптике [301]. Во время пребывания в Екатеринбурге было заложено начало многих работ

А. В. Шубникова по кварцу, объединенных в 1940 г. в книгу [133].

В то время на русском языке не было учебников по кристаллографии и кристаллооптике, удовлетворявших требованиям Шубникова. Поэтому ему пришлось самому составить несколько методических руководств и издать их стеклографическим способом [19, 23, 24].

В связи с этим интересно привести некоторые высказывания Ю. В. Вульфа, который в 1925 г., характеризуя работы А. В. Шубникова, отмечал, что в книге [24], опубликованной под фамилиями Вульфа и Шубникова, весь текст, за исключением очень немногих изменений, принадлежит А. В. Шубникову. «Надо отдать полную справедливость, — писал Ю. В. Вульф, — что изложение сделано мастерски. На днях я получил от А[лексея] В[асильевича] его курс кристаллографии, отличающийся тоже мастерским изложением, оригинальностью плана и его выполнения. Во всех его работах сказывается оригинальный подход к решению вопроса о строении и росте кристаллов и большие математические дарования. Лекции его всегда отличаются ясностью и живостью изложения при большой краткости» [24, с. 3]. Ю. В. Вульф сыграл немаловажную роль в приглашении А. В. Шубникова на работу в Академию наук.

Екатеринбургский период в жизни и творчестве А. В. Шубникова нашел свое отображение в интересных воспоминаниях его ученика и сотрудника проф. Д. Г. Успенского, ярко характеризующих условия работы, кипучую деятельность Алексея Васильевича и красочные детали, дающие представление о его личности.

Первые два года жизни и работы А. В. Шубникова в Екатеринбурге оказались очень трудными во всех отношениях. Кабинеты и лаборатории института были разбросаны по всему городу и ютились в совершенно неподходящих помещениях. Квартиры тоже не было. Как уже говорилось, из дворницкой семья переехала в помещение лаборатории, где несмотря на все трудности Шубников налаживал учебный процесс и научную работу. В 1921 г. родилась дочь Елена.[* Елена Алексеевна Шубникова (р. в 1921 г.) — ныне доктор биологических наук, заместитель заведующего кафедрой цитологии и гистологии МГУ.]

Уже тогда А. В. Шубников проводил в жизнь свой основной принцип: «Учи и рассказом и показом» и сопровождал свои лекции демонстрациями диапозитивов с помощью проекционного фонаря. Как вспоминает его старшая дочь Вера, в детском возрасте ей приходилось бывать на лекциях отца. Сидя в первом ряду, она терпеливо ждала, когда отец начнет показывать

интересные картинки. Иногда терпение ее истощалось, и она громко напоминала лектору о необходимости приступать к демонстрациям, вызывая смех всей аудитории.

Сейчас трудно себе даже представить, какой труд, какую изобретательность и упорство нужно было проявить тогда, чтобы разыскать и достать самые необходимые для лаборатории вещи. Сколько труда было положено Алексеем Васильевичем и студентами, чтобы создать необходимый набор наглядных пособий! Труд по организации кафедры и лаборатории был поистине героическим. Особенно интенсивной была эта работа осенью 1923 г. в ожидании приема большого количества студентов главным образом за счет первого выпуска рабфака.

В те годы большое внимание начали уделять научной организации труда (НОТ). На предприятиях были созданы ячейки НОТ, которые устраивали доклады, диспуты и пр. Обратились с просьбой к А. В. Шубникову, как к самому «организованному» человеку, сделать доклад о том, как он планирует свою собственную работу. Он категорически отказался выступать с докладом по этому вопросу, но охотно согласился побеседовать с людьми на эту тему. Беседа состоялась и прошла очень оживленно. Алексей Васильевич рассказал, что в своей работе он придерживается жесткого распорядка дня: приходит в лабораторию рано утром вместе с уборщицами и работает до 14 час. Затем пешком ходит домой обедать, проделывая путь туда и обратно в 3 км. В 16 час. возвращается в лабораторию и работает там до 20 или 21 час. Никакими особыми «секретами» по организации работы он, конечно, не обладает. Основной секрет — это любовь к избранному делу и увлеченность им.

В процессе беседы А. В Шубников отметил, что работа преподавателя университета должна идти по нескольким направлениям. Первое и самое главное направление— это постоянная самостоятельная учеба, систематическое изучение научной литературы, приобретение новых знаний и навыков. Вторым направлением является обеспечение учебного процесса студентов горного и других факультетов университета. При проведении лекций и лабораторных занятий следует считать основным наглядный метод преподавания. Сам Алексей Васильевич чтение лекций всегда сопровождал показом диапозитивов, большого количества плакатов и наглядных пособий. Особое внимание он обращал на необходимость в связи с отсутствием учебников конспектирования студентами лекций. Третье направление — создание учебника по кристаллографии и других учебных пособий. К курсу своих лекций он составлял учебные пособия сам. Четвертое направление — обеспечение

развития на кафедре научных работ с учетом интересов уральской промышленности. Он считал, что одновременно следует создавать установки для выращивания кристаллов, для обработки камня. В результате были созданы новые способы обработки кристаллов, испытаны в лаборатории, а затем внедрены в промышленность на Екатеринбургской гранильной фабрике. Пятое направление— разработка новых и усовершенствование старых учебных планов и программ. Шестое направление работ — популяризация знаний—лекции в клубах, на фабриках и заводах, а также в уездных центрах. Эти лекции организовывались Уральским лекционным бюро, по путевкам которого А. В. и О. М. Шубниковы часто выезжали в уездные центры.

В заключение беседы Алексей Васильевич отметил, что много времени ему приходится уделять составлению многочисленных отчетов, встречам с учеными и представителями различных производств. Таким образом, его рабочий день полностью загружен, и он очень рассчитывает на помощь со стороны тех студентов, которые имеют желание работать в лаборатории. Поискам и подбору помощников А. В. Шубников уделял особое внимание. Он знал о перегруженности студентов учебной работой и готов был идти на гибкое расписание часов их работы.

Действительно, в те годы учебные планы были очень перегружены. Курс обучения теоретически был рассчитан на пять лет, а практически срок учебы удлинялся до восьми с лишним лет. От студентов требовалось, чтобы они за один учебный год выполнили хотя бы 60% годового плана. Расписание было свободным, экзаменационные сессии отсутствовали, экзамены можно было сдавать в течение всего учебного года. В связи с этим напряженное состояние экзаменационной сессии растягивалось на целый год. Нередко бывало и так, что один студент сдавал предмет, скажем, за третий курс, а его однокурсник тот же предмет — за второй курс.

И тем не менее после приглашения А. В. Шубникова принять участие в работах лаборатории несколько студентов (А. К. Подногин, В. Чихачев, Д. Г. Успенский и другие) стали работать на кафедре.

В тот екатеринбургский период жизни постепенно наладился и быт семьи. По воскресеньям Шубниковы довольно часто ходили в кино и в оперный театр, где был сильный состав исполнителей. Алексей Васильевич особенно любил оперу Мусоргского «Хованщина». В доме Шубниковых всегда было много художественной литературы, которой пользовались все желающие. Алексею Васильевичу нравились «Тринадцать трубок»

Эренбурга, «Конармия» Бабеля и «Железный поток» Серафимовича, заслуживший его особенно высокую оценку. В «Жанне д'Арк» Бернарда Шоу самой драме он предпочитал остроумное предисловие автора.

В те годы А. В. Шубников был постоянным участником праздничных демонстраций. Студенты и преподаватели собирались у своих факультетов, выстраивались в колонну и в сопровождении оркестра проходили по улицам города до главной площади Екатеринбурга, где устраивался митинг. Профессоров и преподавателей просили идти во главе колонны университета, от чего Алексей Васильевич категорически отказывался, говоря, что на лекциях он — профессор, а на демонстрации — рядовой член коллектива. Иногда он брал с собой и своих дочек. Девочки приходили и к нему в лабораторию. Как завороженные они смотрели, как их отец садился за столик с газовой горелкой и в его 'Руках невзрачные стеклянные трубочки на глазах превращались в горделивых маленьких лебедей и изящных балерин — игрушки для елки. Иногда отец сажал их за поляризационный микроскоп и из обыденной жизни они мгновенно переносились в мир чудесных красок. В 1924 г. в семье Шубниковых родился сын Михаил.[* Михаил Алексеевич Шубников (р. в 1924 г.) пал смертью храбрых 19 апреля 1945 г. под Кюстином. Посмертно награжден орденом Отечественной войны первой степени.]

А. В. Шубников с детьми. Слева направо: Елена, Миша, Вера.

В те годы радиовещание только что появилось в Москве, а в Екатеринбурге передающих радиовещательных станций еще не было. Никто из студентов не слышал по радио даже сигналов азбуки Морзе. Студенты попросили Алексея Васильевича прочитать публичную лекцию об электромагнитных волнах и о радио. Шубников удивился, что с таким предложением обратились на кафедру кристаллографии, а не на кафедры физики или электротехники, но студенты настаивали,и он согласился.

Актовый зал, вмещающий около 1000 человек, был набит до отказа. Студенты сидели на подоконниках и стояли в проходах. Интерес к теме лекции был огромный. Алексей Васильевич осветил сущность поблемы, начертил схему на доске и перешел к демонстрации опыта. В конце актового зала студент В. Чихачев включал элементарно- искровой передатчик и получал сильный электрический разряд. В передней части зала на кафедре была установовлена никелированная блестящая стойка — элементарно простое приемное устройство с зеркальным гальванометром. При разряде электромагнитные волны проходили от передатчика до приемника, а гальванометр фиксировал показания, которые были видны всему залу.

Опыт прошел благополучно. После окончания лекции наступила небольшая пауза, а затем весь зал буквально взорвался от аплодисментов. Овация продолжалась очень долго. Алексей Васильевич стоял и смущенно улыбался. По дороге домой он сказал провожавшим его студентам: «Мне так сильно аплодировали, как будто я сам изобрел радио, а на самом деле я потратил на подготовку к лекции совсем мало времени и лишь проиллюстрировал одну страничку из старого учебника физики. А часто человек много лет и даже иногда всю жизнь разрабатывает какую-либо оригинальную тему, а когда докладывает публично полученные блестящие результаты, то зарабатывает несколько жидких хлопков, иногда же видит на лицах слушателей только сомнение и даже получает порицание».

В эти годы перспективность А. В. Шубникова как ученого была признана всеми. Это же отмечал и проф. В. Е. Грум-Гржимайло, считавший А. В. Шубникова редким человеком, у которого голова и руки составляют одно гармоническое целое. Самые сложные положения, математические представления он иллюстрировал моделями собственной композиции, так наглядно демонстрировал явления природы, что в его лекциях не было темных мест: все просто, все элементарно ясно, все понятно. Если

учесть, что Шубников был прекрасным математиком и физико-химиком, то станет понятной краткость и простота его пояснений. Из многих, многих десятков лекторов В. Е. Грум-Гржимайло ставил А. В. Шубникова на одно из первых мест, хотя тот никогда не прибегал к ораторским приемам, а говорил сухо и только о деле.

Лаборатория А. В. Шубникова была местом еженедельных собраний преподавателей университета, а он был их организатором. А. В. Шубников умел вдохнуть в эти собрания жизнь, зажечь преподавателей какой-нибудь идеей, настроить их на проведение докладов, после которых начинались бурные обсуждения. Его лаборатория, его музей моделей и кристаллов, его мастерская, где он всегда лично работал, давали определенный настрой, необходимый для таких собраний. Зал значительных размеров был всегда полон, ибо всякому было приятно провести вечер в лаборатории А. В. Шубникова, где всегда было чему поучиться.

В Екатеринбурге Алексей Васильевич снова встретился с А. Е. Ферсманом, знакомым ему по университетским годам. В статье, посвященной памяти знаменитого академика-минералога, Шубников вспоминал об этих встречах: «В Свердловске он (А. Е. Ферсман, — Я. Ш., Д. У.) даже два раза останавливался у меня на квартире. Первый раз ему пришлось ночевать на столе в помещении студенческого общежития, временно приспособленном для моего проживания. Александр] Евгеньевич] был поразительно непритязателен в общежитейском отношении. Занятый интересными мыслями и работами, он не имел ни времени, ни охоты обращать внимание на житейские неудобства, как бы велики они ни были. Второй раз А. Е. ночевал у меня уже на кровати. Я получил тогда из-за границы довольно много оттисков последних работ по минералогии и кристаллографии. Оставшись один, А. Е. перед уходом ко сну успел пересмотреть все эти работы и сделал из них себе выписки» [350, с. 521].

Во время этих встреч А. Е. Ферсман высоко оценил блестящие научные достижения, глубокую эрудицию и неистощимую энергию уральского профессора и пригласил его на работу в Академию наук.

В 1925 г. Алексей Васильевич передал чтение лекций по кристаллографии и кристаллооптике одному из своих учеников А. К. Подногину и принял предложение А. Е. Ферсмана. Он переехал в Ленинград и начал работать в возглавляемом Ферсманом Минералогическом музее Академии наук.

О деятельности А. В. Шубникова в первый год его работы в Академии А. Е. Ферсман писал так: «А. В. Шубников является

учеником Московской школы минералогов и кристаллографов довоенного времени и работал по минералогии под руководством акад. В. И. Вернадского, а по кристаллографии — проф. Ю. В. Вульфа. Специализируясь в области кристаллографии, А. В. Шубников ушел своей работой в глубокое изучение чисто физических проблем, стоящих на границе между старой геометрической кристаллографией и молекулярной физикой, и очень быстро выдвинулся как своими экспериментальными, так и теоретическими работами. Это же направление его работ, охвативших самые разнообразные отрасли современной науки о твердом веществе, продолжалось в Екатеринбурге (Свердловске), где он проявил большой организаторский талант, создав прекрасную лабораторию, и большие педагогические способности в деле преподавания столь сложной дисциплины, как современная кристаллография. Заняв место в Академии наук, в новой, специально устроенной для него лаборатории, Шубников продолжал свои теоретические работы, но вместе с тем создал специальную промышленно-техническую мастерскую для решения ряда научных проблем в деле обработки камня и самоцветной ограночной промышленности. Умело сочетая потребности хозяйства с новыми научными данными, Шубников сделался консультантом гостреста „Русские самоцветы". Указанное направление в деятельности Шубникова, его глубокий подход и глубокий энтузиазм в научной работе делают его сейчас, несомненно, самым крупным молодым ученым кристаллографом в Союзе, обещающим создать прекрасную школу в этой новой области физического знания.

22 декабря 1925 г. Акад. А. Е. Ферсман».[* Личный архив А. В. Шубникова.]

Глава 5
Кристаллографическая лаборатория (Ленинградский период)

С октября 1925 г. началась работа А. В. Шубникова в Академии наук, продолжавшаяся до конца его жизни.

В то время в Минералогическом музее кристаллографией как наукой специально никто не занимался. Алексей Васильевич поставил себе задачу организовать при музее специальную лабораторию кристаллографии. Ему удалось это сделать, сгруппировав вокруг себя способных и увлеченных кристаллографией сотрудников. Среди них были: Г. Г. Леммлейн, Б. В. Витовский, Е. В. Цинзерлинг, Б. К- Бруновский, М. П. Шаскольская, К. А. Драгунов: Тесно связан с лабораторией был и Г. Б. Бокий, работавший в Горном институте, но часто посещавший лабораторию и.заседания научного кружка, организованного при Минералогическом музее А. Е. Ферсманом.

Приехав в Ленинград, А. В. Шубников с семьей сначала жил в Петергофе в квартире, принадлежавшей Петергофской гранильной фабрике. Зародившееся еще в Екатеринбурге увлечение обработкой камня, заставило А. В. Шубникова часто посещать эту фабрику и детально ознакомиться с процессами ее работы. Особенно его заинтересовало изготовление в то время остродефицитных часовых камней. Многому он научился, да и сам оказался полезным фабрике своими советами и рекомендациями.

Через полгода Шубниковы переехали в Ленинград в один из старых особняков, нуждавшихся в капитальном ремонте. Особняк не имел ни кухни, ни канализации, был совершенно пустой, без какой-либо мебели. Сначала все спали на полу, но понемногу при участии ближайшего помощника А. Е. Ферсмана минералога В. И. Крыжановского быт в основном наладился, и можно было целиком заняться научной работой.

Все сотрудники лаборатории с самого ее возникновения увлекались кварцем. При содействии В. И. Крыжановского музей передал лаборатории большое количество кварцевой гальки, в свое время реквизированной у французской фирмы, торговавшей ранее в Петербурге различными минералами. Кварцевые пластинки, вырезанные параллельно определенным граням, требовались для радиотехники, в частности для военной. Поэтому первое, что необходимо было сделать, это решить вопрос, каким

образом можно определить в гальках кварца направление кристаллографических осей?

Первая задача лаборатории заключалась в том, чтобы сконструировать и изготовить самодельные деревянные установки для резки, шлифовки и полировки кварцевых пластинок и для определения в них направления кристаллографических осей с целью изготовления самих пьезокварцевых пластинок. В эту работу включилась большая часть дружного коллектива лаборатории, которая вскоре получила заказ на изготовление пьезокварцевых пластинок с определенной частотой колебаний для нужд Красной Армии. Военное ведомство снабдило лабораторию необходимыми приборами для измерения радиочастот и прикомандировало к ней специалиста для работы на этих приборах. Сотрудникам лаборатории и самому А. В Шубникову приходилось работать очень напряженно, не считаясь со временем. Готовые пластинки немедленно сдавали специальному приемщику.

Вскоре лаборатория, получившая наименование «Кварцевой», достигла в изготовлении пьезокварцевых пластинок высокого мастерства. В 1931 г. под редакцией А. В. Шубникова появилась небольшая книжка [58], а впоследствии и ряд других работ по усовершенствованию техники изготовления пьезокварцевых пластинок для различных целей, в частности для кристаллооптики.

В Ленинграде в Физико-техническом институте АН СССР А. В. Шубниковым была организована специальная лаборатория, так называемая фабрика кристаллов, предназначенная для выращивания в автоклавах больших кристаллов сегнетовой соли статическим способом из химически чистого раствора.

Ленинградский период (1925—1934 гг.) занимает исключительное место не только в биографии самого ученого, но и в развитии всей советской кристаллографии. Об этом ярком и незабываемом периоде, связанном с блестящим расцветом творческой деятельности Алексея Васильевича, сохранились увлекательные и ценные записи М. П. Шаскольской, Г. Б. Бокия и др. Живо написанные заметки М. П. Шаскольской дают широко развернутую, живую картину становления и бытия Кристаллографической лаборатории со всеми ее будничными и праздничными событиями. На общем фоне этих заметок четко вырисовывается образ замечательного организатора и руководителя лаборатории Алексея Васильевича Шубникова.

Из числа группировавшихся вокруг своего учителя молодых сотрудников вышли впоследствии ведущие советские кристаллографы — чл.-корр. АН СССР Г. Б. Бокий, профессора Г.

Г. Леммлейн, Е. В. Цинзерлинг, М. П. Шаскольская.

23 августа 1934 г. лаборатория переехала в Москву, и началась новая эра ее существования.

Глава 6
Кристаллографическая лаборатория (Московский период). Великая Отечественная воина

В Москве под руководством А. Е. Ферсмана в специальном здании обосновался Ломоносовский институт, включавший в себя три сектора: минералогический, петрографический и геохимический. В 1934 г. в институте был организован кристаллографический сектор, возглавляемый А. В. Шубниковым. К этому времени Алексей Васильевич уже имел звание члена-корреспондента АН СССР и степень доктора геологических наук, присужденную ему в том же году по совокупности работ, без защиты диссертации.

Получив в здании Ломоносовского института в Старомонетном переулке хорошее просторное помещение и штат сотрудников, А. В. Шубников прежде всего организовал при кристаллографическом секторе специальную мастерскую для камнерезных, шлифовальных и механических работ. Очень скоро расширился и окреп сектор в целом. В нем наметились и стали развиваться несколько самостоятельных направлений: учение о симметрии (А. В. Шубников), изучение морфологии кристаллов (Г. Г. Леммлейн), рентгеноструктурный анализ кристаллов (Б. К. Бруновский), рост кристаллов (А. В. Шубников, Б. В. Витовский, Г. Ф. Добржанский), механическое двойникование кварца (Е. В. Цинзерлинг), структура реальных кристаллов (М. П. Шаскольская), выращивание кристаллов сахарозы исегнетовой соли, позднее синтез кварца (Н. Н. Шефталь), изготовление пьезокварцевых изделий (К. А. Драгунов), практическая кристаллооптика (А. Б. Гильварг), выращивание кристаллов искусственного корунда (С. К. Попов).

В работе кристаллографического сектора принял участие З. Г. Пинскер, работавший одновременно в Биогеохимической лаборатории Академии наук. Он занимался проектированием и конструированием электронографа собственной оригинальной конструкции и в Кристаллографической лаборатории (позднее в Институте) возглавил новое направление: электронографический структурный анализ кристаллов. Один из его учеников Б. К. Вайнштейн, успешно работавший вначале в той же области, впоследствии стал членом-корреспондентом, а затем и академиком. Ныне он возглавляет Институт кристаллографии АН

СССР имени А. В. Шубникова.

В 1937 г. в кристаллографический сектор Ломоносовского института был приглашен Н. В. Белов (впоследствии академик, Герой Социалистического Труда и лауреат Ленинской премии), работавший еще в Ленинграде у А. Е. Ферсмана над изучением структур кристаллов. Придя в кристаллографический сектор, Н. В. Белов быстро освоил технику рентгеноструктурного анализа кристаллов. Первыми учениками Н. В. Белова были В. П. Бутузов, Л. М. Беляев и Е. Н. Белова.

В 1938 г. после вынесения соответствующего решения комиссией под председательством акад. И. М. Губкина Президиум АН СССР принял постановление выделить кристаллографический сектор из Ломоносовского института и создать на его основе самостоятельную Кристаллографическую лабораторию на правах института, подчиненную непосредственно Отделению геолого-географических наук. А. В. Шубников тем же постановлением был назначен заведующим этой лаборатории. Следует особенно подчеркнуть, что все научные направления, начатые А. В. Шубниковым в Ленинграде, имели свое дальнейшее успешное развитие в Москве.

После переезда лаборатории .в Москву направление прикладной кристаллографии (изготовление пьезокварцевых пластинок) стало быстро развиваться. Под руководством А. В. Шубникова в 1937 г. была организована новая лаборатория Треста № 13, где широко развернулись различные работы по выращиванию и обработке кристаллов сегнетовой соли, кварца и синтетического корунда. С начала Великой Отечественной войны на основе этой лаборатории возник и успешно работал завод, где главным инженером был один из талантливейших учеников А. В. Шубникова А. С. Шеин. Результаты работ, выполнявшихся на этом заводе, послужили основой для создания целого ряда научно-исследовательских организаций и специальных заводов, действующих и поныне (см. гл. 12).

Работы по выращиванию кристаллов искусственного корунда проводились в течение нескольких лет под непосредственным руководством одного из учеников А. В. Шубникова С. К. Попова и привели к созданию цеха производства кристаллов искусственного корунда и к развитию промышленности часовых камней и нитеводителей. За работы по выращиванию кристаллов искусственного корунда А. В. Шубникову, В. П. Бутузову и С. К. Попову в 1950 г. была присуждена Государственная премия.

По примеру «Фабрики кристаллов» в Ленинградском физико-техническом институте в Москве таким же статическим методом и примерно на такой же аппаратуре сотрудник Кварцевой

лаборатории Н. Н. Шефталь — первый московский кристаллограф, ставший учеником Алексея Васильевича, освоил выращивание сначала кристаллов сахарозы, а затем сегнетовой соли. Одновременно выращиванием кристаллов сегнетовой соли динамическим методом занимались Б. В. Витовский и Г. Ф. Добржанский.

Великая Отечественная война потребовала перестройки всего народного хозяйства для нужд фронта. Перестроилась и Академия наук. На базе Кристаллографической лаборатории за три ' месяца в Москве был построен специальный завод по производству аппаратуры с использованием кристаллов сегнетовой соли, для организации работ на котором был командирован Н. Н. Шефталь. Остальная часть лаборатории переключилась на выпуск пьезокварцевых изделий для армии, в связи с чем были организованы производственные мастерские.

Большинство академических учреждений во время войны было эвакуировано, но Кристаллографическая лаборатория осталась в Москве и продолжала работать в условиях частых бомбежек и близости фронта. А. В. Шубников уделял много внимания организации производства, обучению вновь принятых сотрудников, не прекращая также своих научных исследований. Именно в это время осуществлялась разработка технологии разделки кварца, так называемого косого среза, позволяющего использовать кварцевые кристаллы мелких размеров. Одновременно он проводил исследования пьезоэлектрических текстур.

В октябре — ноябре 1941 г. по распоряжению Советского правительства лаборатория была эвакуирована из Москвы в Свердловскую область, где через два месяца уже выпускала пьезокварцевые изделия. Здесь А. В. Шубников создал специальную кварцевую лабораторию, выполнявшую работы, связанные с обороной, и в то же время продолжал исследование по пьезоэлектрическим текстурам, по внутренней морфологии и структуре кристаллов. Результатом этой научной работы А. В. Шубникова явилась книга [149], обобщавшая экспериментальные работы, выполненные в 1940—1941 гг. в Москве и Свердловске. Эта книга была удостоена Государственной премии.

Научная биография А. В. Шубникова весьма многообразна. Об этом свидетельствует библиография его работ, насчитывающая 350 названий. Содержанию и оценке этих работ посвящено много статей, а признанием его заслуг является высокое звание Героя Социалистического Труда и дважды лауреата Государственной премии СССР. Его имя присуждено Ордена Трудового Красного Знамени Институту кристаллографии АН СССР.

Весной 1943 г. Кристаллографическая лаборатория возвратилась в Москву. В нее влилась новая группа по исследованию высокопрочных анизотропных материалов, восстановились работы по росту кристаллов. В 1944 г. лаборатория была преобразована в Институт кристаллографии Академии наук СССР — первый и единственный во всем мире научно-исследовательский кристаллографический институт. Директором института стал его создатель Алексей Васильевич Шубников.

Глава 7
Ордена Трудового Красного Знамени Институт кристаллографии имени А. В. Шубникова

В Москве в одном из зданий Ленинского проспекта находится ордена Трудового Красного Знамени Институт кристаллографии имени А. В. Шубникова Академии наук СССР. Рождению в 1944 г. этого замечательного института предшествовала длительная и упорная работа большого коллектива под руководством выдающегося ученого-новатора Алексея Васильевича Шубникова, чей барельеф украшает фасад здания института, в ближайшее время отмечающего свое сорокалетие. В институте развиваются все основные направления кристаллографии: структурный анализ кристаллов с использованием рентгеновского, электронного и нейтронного излучений, исследование процессов образования и роста технически важных кристаллов, изучение физических свойств кристаллов. В широком аспекте развивается и совершенствуется теория симметрии.

Как уже говорилось, для развития в Минералогическом музее Академии наук кристаллографического направления академик А. Е. Ферсман пригласил молодого профессора А. В. Шубникова. Будучи убежденным, что сила науки заключается в ее тесной связи с нуждами производства, с нуждами общества, А. В. Шубников начал развивать новые прикладные направления кристаллографии.

Взгляды А. В. Шубникова, сложившиеся под влиянием Ю. В. Вульфа, объясняют его стремление придать учению о кристаллах максимальную физическую направленность, что практически с первых же дней работы в Ленинграде привело к включению в план исследований изучения физических свойств и применения замечательного представителя мира минералов — горного хрусталя, являющегося носителем ряда уникальных оптических и электрических свойств. Шубникова вдохновляла работа Поля Ланжевена, который в годы первой мировой войны на кристаллах кварца создал эхолот и применил кварц в других пьезоэлектрических устройствах.

В ходе исследований пришлось решать сугубо технические задачи (создание станков, изготовление абразивов) и на практике познавать и эффективно использовать анизотропию свойств. Комплекс этих разносторонних исследований был подытожен в

коллективном труде под общим руководством А. В. Шубникова [58]. Была выпущена партия пьезокварцевых стабилизаторов, применявшихся при создании средств связи.

Другим направлением работ были традиционные исследования по росту кристаллов с приданием этому направлению новых черт: кристаллизация как процесс образования кристаллов и как технологически масштабный вариант их выращивания. Большой личный опыт был сведен А. В. Шубниковым в увлекательно написанную книгу «Как растут кристаллы» [86], которая оказалась в то время единственной в своем роде в русской научно-популярной литературе. Английский минералог Спенсер считал необходимым перевести ее на английский язык.

Деятельность А. В. Шубникова в ленинградский период, посвященный преобразованию кристаллографии из учения о деревянных моделях в науку о реальных кристаллах и об их техническом использовании, привлекла к нему молодых сотрудников, которые составили основу Кристаллографической лаборатории. Переезд ее в Москву и размещение в большом специально приспособленном помещении позволили Алексею Васильевичу приступить к осуществлению своих идей в более широком масштабе. За счет кооперации с промышленностью удалось пополнить лабораторию новым техническим оборудованием. Арсенал станочного оборудования для обработки камня, мощные ультразвуковые генераторы, радиотехническое оборудование дали возможность не только совершенствовать первые варианты пьезокварцевых изделий, но и быстро перейти к промышленной технологии пьезокварцевого производства, без особых трудностей осваиваемой заводами электротехнической промышленности. Были расширены работы по выращиванию кристаллов сегнетовой соли и рубина.

Начали развиваться работы по теоретическим основам кристаллографии, включавшие не только учение о кристаллическом индивиде, но и распространенное учение о кристаллических средах. К исследованию кристаллической структуры минералов как основы их систематики и новых применений (в ситаллах, связующих материалах) стали применять рентгеновский метод.

Расширилось понятие о классических и трафаретных 32 классах симметрии, дополненных семью предельными группами симметрии. Расширение учения о стержневых группах позволило А. В. Шубникову предсказать возможность синтетического построения анизотропных сред, что в дальнейшем было осуществлено практически.

Изучение процессов шлифовки и полировки кристаллов значительно способствовало углубленному их пониманию. Влияние скорости деформации привело к исключительно интересному открытию механических двойников в кварце. Это направление микропроцессов деформирования кристаллов в дальнейшем составило предмет исследований большой группы сотрудников по выяснению физической природы прочности и пластичности вообще.

В результате проведенных работ А. В. Шубников создал серию обобщающих монографий [132—134]. Теоретические и экспериментальные сведения по пьезоэлектричеству, вошедшие в книгу «Кварц и его применение» [133], сделали ее настольной книгой для специалистов-кварцевиков как в лаборатории, так и в заводском цехе. В книге «Симметрия» [132] А. В. Шубников провел основную мысль, что учение о симметрии является фундаментом кристаллографии и с огромным успехом используется в других отраслях знания. Симметрией кристаллов определяются все их свойства, облегчается не только понимание этих свойств, но и дается возможность предсказать новые, еще не обнаруженные свойства.

Разносторонняя научная деятельность в области кристаллографии, глубокий подход к сущности явлений дали возможность А. В. Шубникову и его сотрудникам представить учение о кристаллах в новом аспекте, пронизанном единой идеей о кристалле как о физической среде, с одной стороны, и как об индивиде природы — с другой. Это новое учение о кристалле составляет содержание уже упомянутой книги «Основы кристаллографии» [134], представляющей также суммированный опыт преподавательской деятельности А. В. Шубникова.

Важный вклад в развитие кристаллохимии и рентгеноструктурного анализа внес выпуск в 1936 г. значительно дополненного и переработанного издания книги О. Гасселя [107]. Для развития исследований механических свойств кристаллов большую роль сыграл перевод М. П. Шаскольской книги Е. Шмидта и В. Боаса [121].

Таким образом, уже, в предвоенные годы были созданы основные разделы исследования кристаллов с единым целостным подходом к их изучению как индивидов природы, являющихся одновременно и средами. Активно развивался раздел практической кристаллографии, включавший организацию пьезокварцевого производства и технологические процессы выращивания и создания пьезоэлементов из кристаллов сегнетовой соли. В научном и организационном плане это выделяло кристаллографию как дисциплину, являющуюся

основой новых производств.

Испытанием этого тезиса стала Великая Отечественная война. С первых ее дней для нужд фронта начали работать подразделения лаборатории по кварцу и сегнетовой соли. В ходе войны ученые лаборатории сумели не только проводить собственные оборонные работы, но и продолжать исследования в фундаментальных разделах кристаллографии. А. В. Шубников с привлечением группы сотрудников продолжал практические исследования пьезоэлектрических текстур. Г. Г. Леммлейн обобщил исследования по внешней и внутренней морфологии кристаллов- минералов и на примере кварца продемонстрировал технологическую важность секториального и зонарного его строения. Н. В. Белов с позиций кристаллохимического анализа указал пути совершенствования производства хромовой минометной стали. М. В. Классен-Неклюдова и А. К. Буров приступили к поиску новых легких высокопрочных материалов. Г. И. Дистлер начал работы по созданию поляризаторов и специальных светофильтров, которые позже были осуществлены на основе полимерных сред с наполнением их микрокристаллами различных металлов. Были созданы также молекулярные текстуры с поляризацией на дихроичных молекулярных комплексах, завершена разработка технологической методики по изготовлению кварцевых стабилизаторов по методу так называемого косого среза, давшая существенный экономический эффект. В 1943 г. за оборонные работы Кристаллографическая лаборатория была награждена Почетной грамотой и денежной премией.

Еще в период пребывания лаборатории в эвакуации в Свердловской области при поддержке академиков А. Е. Ферсмана, А. А. Байкова, В. А. Обручева и А. Ф. Иоффе был поставлен вопрос о преобразовании ее в Институт кристаллографии, что и было претворено в жизнь в 1944 г. Таким образом, идеи А. В. Шубникова о самостоятельности кристаллографии как научной дисциплины, находящейся на стыке математики, физики и химии, были реализованы и в организационном отношении. Так возник перцый в мире комплексный институт кристаллографии. Главной проблемой института стало восстановление зарождавшейся перед войной промышленности искусственного рубина. Начались и первые опыты по синтезу искусственного пьезокварца. Получили развитие работы, связанные с исследованием структуры кристаллов. В «синей книге» Н. В. Белова,[* Белов Н. В. Структура ионных кристаллов и металлических фаз. М.: Изд-во АН СССР, 1947. 236 с.] заложившей основы отечественной кристаллохимии, был дан полный перечень плотнейших упаковок с указанием их

групп симметрии. В дальнейшем это было использовано при расшифровке сложнейших структур искусственных и природных соединений и предоставило фактический материал для перевода систематики минералов на структурную основу. Следует отметить, что и по истечении 30 с лишним лет эта книга сохраняет свое фундаментальное теоретическое значение и широко используется специалистами по физике и химии твердого тела.

А. В. Шубников. 1956 г.

Книга А. В. Шубникова «Пьезоэлектрические текстуры» [149] завершила двадцатилетний период теоретических и экспериментальных изысканий по распространению кристаллографического и симметрийного подхода к описанию непрерывных анизотропных сред. В расширенном варианте в соавторстве с И. С. Желудевым, В. П. Константиновой и И. М. Сильвестровой она вышла в свет в 1955 г. [198] и стала технологической основой для производства пьезокерамических изделий. В 1958 г. книга была переведена на французский язык [233].

Постепенно начали возникать новые подразделения Института кристаллографии. Появилась лаборатория электронографии, возглавляемая З. Г. Пинскером. Были начаты работы по структурной электронографии: исследования по физике рассеяния электронов применительно к нуждам электронографического структурного анализа. Обобщения даны в монографиях З. Г. Пинскера «Дифракция электронов» и Б. К. Вайнштейна «Стуктурная электронография», получивших широкое распространение в СССР и за рубежом. К настоящему времени в лаборатории определено свыше 150 структур, ранее не известных либо требовавших уточнения, в особенности по локализации легких атомов. Заслугой лаборатории является также и то, что ею разработана соответствующая отечественная электронографическая аппаратура.

Для изучения оптических свойств кристаллов организуется специальная лаборатория кристаллооптики с целью исследования оптических монокристаллов, однородности искусственных кристаллов и физической природы воздействия примесей на их свойства. Одним из первых объектов был искусственный рубин, совершенствование технологии изготовления которого немыслимо без применения оптических методов.

В работах по росту кристаллов активно исследуется влияние ультразвука как средства управления процессом роста. Результаты этих работ обобщены в монографии А. П. Капустина. [* Капустин А. П. Влияние ультразвука на кинетику кристаллизации. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 85 с.]

Работы по первым опытам получения искусственного кварца обобщены Н. Н. Шефталем в его монографии 1955 г. Выполняется цикл работ по спиральному росту кристаллов, выращиванию кристаллов для ядерной физики и инфракрасной техники.

Велика и ответственна роль Института кристаллографии в организации распространения специальных знаний. Так, для удовлетворения запросов нарождающейся промышленности монокристаллов были организованы новые кафедры кристаллографии сначала в Горьковском и несколько позже в Московском государственных университетах. Были открыты также специальности, готовящие кадры по новым материалам в Ленинградском химико-технологическом институте им. Ленсовета, в Московском химикотехнологическом институте им. Д. И. Менделеева, в Московском институте стали и сплавов. Приступили к подготовке кадров соответствующих специальностей и высшие учебные заведения Харькова, Львова и Кишинева.

Институт кристаллографии является центром, организующим

конференции и совещания по росту кристаллов, рентгеноструктурному, электронографическому и электронно-микроскопическому анализу. В L966 г. в Москве была проведена 7-я Генеральная ассамблея, Международного союза кристаллографов и в Цахкадзоре (Армения) — Международная конференция по росту кристаллов.

Растут специализированные отраслевые институты промышленных министерств и ведомств по выращиванию и применению кристаллов. Деятельность вузовских и промышленных исследовательских учреждений координируется Научным советом по проблеме «Образование и структура кристаллов», возглавляемым Институтом кристаллографии. Благодаря научно-координационной деятельности института была создана новая отрасль промышленности монокристаллов кварца, рубина, кристаллов-сцинтилляторов и кристаллов для квантовой электроники.

Институт кристаллографии крепнет и развивается. Он включает уже более 20 лабораторий, оснащенных самым современным оборудованием, позволяющим исследовать процессы на атомно-молекулярном уровне и осуществлять эти процессы в условиях, экстремальных по температуре и давлениям.

Как и во всяком деде, решение и успех определяются правильным и умелым подборам и воспитанием кадров. На первом этапе развития института это был подбор и объединение разрозненных одиночек, занимавшихся кристаллографией в тиши научных кабинетов, на втором этапе — подготовка молодежи и привлечение кадров инженерного профиля. В составе института, кроме специалистов чисто кристаллографического профиля, работают также специалисты по физике твердого тела, инженеры-технологи, инженеры-приборостроители и инженеры по автоматизации процессов выращивания кристаллов и по расшифровке кристаллографических структур.

Основные достижения института за последний период широко освещены в научных и научно-популярных изданиях: «Кристаллы в науке и технике», «Кристаллография», в сборнике «Советская наука и техника за 50 лет» и др. Научные труды сотрудников института опубликованы в двенадцати выпусках «Трудов Института кристаллографии», в тринадцати сборниках «Рост кристаллов», в журнале «Кристаллография», двадцать пятый том которого вышел в 1980 г., и в других журналах. Сотрудниками института опубликовано более 6000 статей и издано 58 монографий, в числе их четырехтомная «Современная кристаллография». В институте трудятся: академик Б. К-

Вайнштейн, член-корреспондент АН СССР Н. А. Киселев, два лауреата Ленинской премии, И лауреатов Государственной премии, 38 докторов наук, 145 кандидатов наук. С 1944 по 1980 г. в институте подготовлено около 400 докторов и кандидатов наук.

Прослеживая этапы развития Института кристаллографии, нельзя не оценить стройного и заранее обдуманного плана, по которому А. В. Шубников создавал институт. Определяющим принципом являлось разрешение краеугольных проблем собственно научного значения: учения о симметрии, проблемы структурного анализа кристаллов и биологических объектов с использованием различного рода электромагнитных излучений и проблемы физической прочности и пластичности, а также решение проблем вновь организуемых производств. К последним относится проблема изучения природного и искусственного кварца, искусственного рубина, производство технических и драгоценных камней, создание новых и усовершенствование имеющейся номенклатуры пьезоэлектрических и оптических кристаллов.

Велики заслуги А. В. Шубникова в развитии кристаллографической науки. Они нашли признание в награждении его двумя орденами Трудового Красного Знамени (в 1945 и 1962 гг.), орденом Ленина в 1953 г., а также в присвоении ему в 1967 г. высокого звания Героя Социалистического Труда с вручением второго ордена Ленина. В 1969 г. Институт кристаллографии за большие успехи в научной деятельности был награжден орденом Трудового Красного Знамени и заслуженно считается флагманом этой науки.

Пример Института кристаллографии за свою почти сорокалетнюю плодотворную деятельность показывает справедливость того, что производство двигает науку больше чем десятки университетов.

В 1962 г. А. В. Шубников, по его просьбе, был освобожден от должности директора института с назначением заведующим лабораторией поисковых исследований. Этой лабораторией он руководил до конца своей жизни.

На посту директора института Алексея Васильевича сменил академик Б. К. Вайнштейн, под руководством которого Институт кристаллографии растет и совершенствуется дальше, внося новый вклад в дело научно- технического прогресса нашей страны.

Глава 8
Кафедра кристаллографии и кристаллофизики МГУ

Алексей Васильевич Шубников счастливо сочетал в себе талант крупнейшего ученого-естествоиспытателя и блестящего педагога. Всю свою сознательную жизнь он учился и, учась, учил других. В 1953 г. Алексей Васильевич организовал и возглавил кафедру кристаллографии и кристаллофизики на физическом факультете Московского университета.

Этому событию предшествовали два других. В 1946 г. из отделения геофизики геологического факультета МГУ выделилась кристаллографическая специализация, преобразованная в 1949 г. кафедру кристаллографии и кристаллохимии, которую возглавил проф. Г. Б. Бокий. В осеннем семестре 1946 г. Г. Б. Бокий прочел спецкурс кристаллографии, который представлял собой живой рассказ о самом предмете, об его истории и о действующих лицах — выдающихся кристаллографах мира. В глазах студентов А. В. Шубников был самым выдающимся из них, ставшим классиком при жизни. Можно представить себе радость студентов, когда Г. Б. Бокий на заключительной лекции объявил, что в следующем семестре кристаллофизику будет читать А. В. Шубников.

Эти лекции были прочитаны весной 1947 г. в Институте кристаллографии на втором этаже мрачновато-холодного здания Ломоносовского института. Строгий стиль помещения контрастировал, однако, с той атмосферой доброжелательства, приподнятости и взаимной заинтересованности, которую ощущал новичок за порогом здания. В тот год сотрудников в институте было мало, столько же, сколько сейчас на кафедре кристаллофизики МГУ, и все знали всех. Каждую среду многие из них приходили в конференц-зал института и усаживались вместе со студентами за длинным- столом, накрытым- зеленым сукном.

Ровно в 11 час., минута в минуту, в зал входил» директор института и объявлял тему лекции. Говорил он неторопливо, ровным спокойным голосом Вся его статная, собранная фигура излучала интеллектуальную силу, и только блеск глаз и дрожащий листочек-конспект, который он держал в руках, выдавали сдерживаемое волнение. Да, Алексей Васильевич волновался перед каждым своим выступлением и в 60 и в. 80 лет! К каждой лекции он готовился тщательно), доводя ее культуру до

такой степени, когда техника уже не видна и наступает свободное общение с аудиторией, без каких-либо; помех.

Это было творчество. Казалось, что увлекательного в темах, которые он излагал? Векторы, тензоры, пироэлектричество, напряжение и деформация, тепловое расширение, пластичность, тепло и электропроводность, пьезоэлектричество, упругость кристаллов. Но, рассуждая об этих сугубо научных материях, Алексей Васильевич весь «светился», и его любовь к предмету электризовала аудиторию, передавалась всем, и почтенным мужам и юнцам, очарованно внимавшим каждому его слову.

Алексей Васильевич умел о сложных вещах говорить так просто, что, истина становилась очевидной. О простых и известных вещах он говорил по-новому свежо и оригинально, освещая проблему под неожиданным, подчас парадоксальным, углом. А его исторические экскурсы или философские обобщения! Алексей Васильевич показывал процесс развития идеи так рельефно, что она представала перед слушателями не как голая абстракция, а во всем богатстве своего конкретно-исторического содержания.

И в то же время от конкретного и частного он умело переходил к абстрактному и общему, приглашая слушателей разделить вместе с ним радость познания законов бытия и оценить всю красоту открывающейся перед ними гармонии мира.

В начале курса А. В. Шубников обратился к студентам с просьбой законспектировать его лекции. Жребий пал на В. А. Копцика. Гордый поручением, студент включил в конспект не только читавшийся материал, но и значительно расширил математическое введение. И вот — горький урок. На полях тетради появились пометки, сделанные рукою А. В. Шубникова: «Не согласен», «Интересно, но не нужно», «Дальше это нигде не используется», «Можно опустить».

Жизненным принципом Алексея Васильевича была мудрая простота, соответствие содержания и формы. В частности, он всегда полагал, что математика для физики — не самоцель, а вспомргательное средство. Требовательный к себе, он, конечно, не рассчитывал на использование студенческого конспекта для подготовки учебного пособия, он был ему нужен как средство обратной связи, для выяснения вопроса: как его понимают? Одновременно он использовал конспект и как эффективное средство обучения.

В 1947/48 уч. году Алексей Васильевич читал курсы по кристаллооптике и росту кристаллов. Читал так же вдохновенно, как прежде, сопровождая лекции изумительными по красоте демонстрациями. Как волшебник он проводил какие-то

манипуляции у проекционного микроскопа, объясняя на словах, что он делает, а студенты, затаив дыхание, ожидали, что же будет на этот раз. Картины конической рефракции, поляризации и интерференции света в кристаллических пластинках, явления роста кристаллов из раствора и расплава проектировались подчас прямо на потолок затемненной аудитории. Лекции по кристаллооптике сопровождались дополнительно практическими занятиями, которые вел Н. М, Меланхолии.

Начав активное сотрудничество с кафедрой кристаллографии и кристаллохимии геологического факультета МГУ, А. В. Шубников не мог на этом остановиться. Главным делом и смыслом его жизни было привнесение физического содержания в кристаллографию, которую он понимал как самостоятельную дисциплину в единстве ее геометрического, физического и физико-химического начал. Замышляя перевод Института кристаллографии в Отделение общей физики и астрономии АН СССР, Алексей Васильевич приступил к организации кафедры кристаллографии на физическом факультете Горьковского государственного университета. Его ближайшими соратниками в этом деле были Н. В. Белов и З. Г. Пинскер. Сам Алексей Васильевич дважды (сентябрь 1947 г. и февраль 1948 г.) приезжал в Горький для чтения лекций по кристаллографии, которые были столь же увлекательны, как и на геологическом факультете МГУ. Кафедра в Горьком выросла в крупнейший вузовский центр по подготовке специалистов в области рентгеноструктурного анализа и роста кристаллов. Много выпускников этой кафедры работают в различных уголках нашей страны, и прежде всего в любимом детище Алексея Васильевича — Институте кристаллографии АН СССР.

Организовав в 1947 г. кафедру кристаллографии в Горьковском университете, А. В. Шубников не оставил мечты о создании кристаллофизической специализации и в своей Alma mater — на физическом факультете МГУ, где плодотворно трудились ученики Ю. В. Вульфа — профессора С. Т. Конобеевский, А. Б. Млодзеевский, Б. И. Ильин и был создан крупный вузовский центр в области физики твердого тела.

С переездом естественных факультетов МГУ на Ленинские горы мечта А. В. Шубникова осуществилась. Алексей Васильевич принял предложение ректора МГУ акад. И. Г. Петровского возглавить кафедру кристаллографии и кристаллофизики и 11 марта 1953 г. выступил на ученом совете физического факультета с изложением программы работы новой кафедры. Дав развернутые определения кристаллографии, кристаллофизики и физики кристаллов, А. В. Шубников охарактеризовал структуру

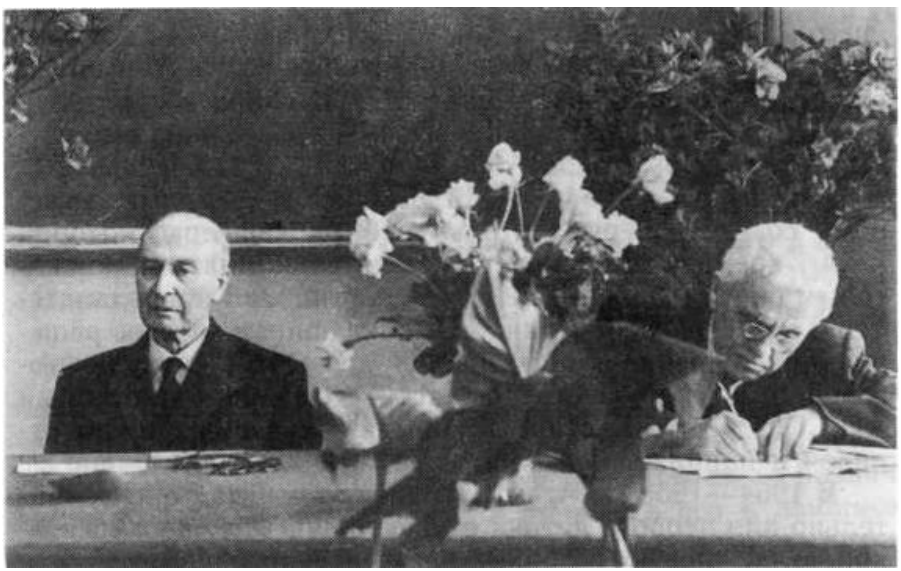
новой кафедры. Он говорил, что физика кристаллов начинается с роста кристаллов. Необходимо научиться выращивать искусственные кристаллы и иметь в составе кафедры соответствующую лабораторию. Проектировалось создать также лаборатории кристаллооптики, электрических и механических свойств кристаллов. Такая структура определялась, с одной стороны, кругом научных интересов приглашаемых на кафедру ученых, с другой — стремлением не дублировать тематику других кафедр, но в конечном счете — потребностями подготовки соответствующих научных кадров. В заключение А. В. Шубников обратился к членам ученого совета с призывом к проведению совместных комплексных работ.

Уже 19 июня 1954 г. А. В. Шубников докладывал ученому совету о первых итогах работы кафедры, которая к тому времени располагала уже пятью комнатами и некоторым оборудованием. Ее штат состоял из 5 преподавателей и 6 научных сотрудников. Совет принял важное решение о расширении площади новой кафедры и утвердил договор о ее содружестве с Институтом кристаллографии АН СССР. Это был старт. За ним потянулись годы кропотливой и напряженной работы.

В 1954—1955 гг. А. В. Шубников прочитал последовательно для первого потока студентов четыре спецкурса — кристаллографию, образование и рост кристаллов, кристаллооптику и кристаллофизику. Лекции эти были для факультета событием. Они привлекали широкую аудиторию (до 100 человек) — студентов, аспирантов и сотрудников, причем не только физического, но и других факультетов МГУ, а также сотрудников академических и отраслевых институтов. Слушать лекции Алексея Васильевича было очень интересно, как смотреть любимый спектакль. Он никогда не повторялся, а находил даже для ранее читанного новый ракурс, новый язык, новые нюансы и краски.

Спецкурсы А. В. Шубникова заложили основу учебного плана кафедры кристаллографии и кристаллофизики. Но предстояло сделать еще многое: освоить втрое больший годовой объем лекционной и семинарской нагрузки (450 час.), оборудовать студенческий спецпрактикум и научные лаборатории. В решении этой задачи большую помощь оказали Ф. И. Федоров, Б. Н. Гречушников, С. В. Грум-Гржимайло, Е. С. Рудницкая, Г. И. Косоуров, И. С. Желудев, А. А. Чернов, читавшие на кафедре с 1955 по 1960 г. лекции по кристаллооптике, электрическим свойствам и росту кристаллов. В мае 1954 г. на кафедру по конкурсу были избраны Г. Г. Леммлейн и В. В. Регель, в 1959 г. — З. Г. Пинскер и А. А. Воронков. В 1954 г. в состав кафедры

органически влилась лаборатория фазовых переходов во главе с В. К. Семенченко и Н. Л. Покровским. В. К. Семенченцо читал в 1958—1962 гг. спецкурс термодинамики кристаллов, Н. Л. Покровский стал первым заведующим спецпрактикума и лектором по курсу основ кристалографического эксперимента. С 1959 г. сотрудниками кафедры стали Е. Г. Валяшко и А. А. Предводителев, возглавившие лаборатории кристаллооптики и механических свойств кристаллов. В 1963 г. на кафедре была организована проблемная лаборатория роста кристаллов для квантовой электроники. В ее штат вошли Л. Н. Рашкович и В. К. Яновский.



На чествовании 80-летия А. В. Шубникова. 1967 г. Академики А. В. Шубников и Н. В. Белов.

Если в первоначальный организационный период кафедра расширялась и укреплялась главным образом за счет притока кадров извне, то уже с 1960—1963 гг. наметился новый этап качественного совершенствования педагогического и научного состава, ознаменованный защитой кандидатских диссертаций выпускниками кафедры Ю. И. Сиротиным и Б. А. Струковым и докторской диссертации — В. А. Копциком.

В течение 15 лет (до января 1968 г.) А. В. Шубников заведовал кафедрой кристаллографии и кристаллофизики. На заседаниях и научных семинарах он неоднократно делился мыслями о роли руководителя. Последний представлялся ему пылинкой, совершающей броуновское движение: чем больше ее инертная масса, тем выше его авторитет. Алексей Васильевич никогда не занимался мелочной регламентацией, сковывающей

инициативу подчиненных ему людей, но требовал безусловного выполнения принятых обязательств. Он считал, что успех общего дела решает контроль и строгая должностная иерархия. В отношениях с людьми руководствовался известным принципом: нет плохих людей, есть лишь плохие отношения.

А. В. Шубников был великим тружеником науки, увлекавшимся и увлекавшим за собой других. Созданная им кафедра с течением времени превратилась в зрелый педагогический и научный коллектив. Среди ее 300 выпускников насчитывается уже 50 кандидатов и несколько докторов наук. И если история судит о человеке по тому„ что он оставил людям, об Алексее Васильевиче можно сказать — дело его живет.

Глава 9
Геометрия и симметрия в трудах А. В. Шубникова

Теория симметрии, ее развитие, история, обобщения занимают в научном, научно-популярном, научно-философском наследии А. В. Шубникова главенствующее место. Он внес существенный вклад в развитие и обобщений этой теории. «Становление А. В. Шубникова как ученого и развитие отечественной кристаллографии во многом определили два крупнейших ученых — Е. С. Федоров и Ю. В. Вульф. Если из трудов первого, считавшего себя в основном геометром ш давшего законченную теорию 230 пространственных групп, А. В. Шубников почерпнул вкус к теории симметрии, то непосредственное общение с Ю. В. Вульфом способствовало его развитию как исследователя физических свойств кристаллов» [Л. 58, с. 5]. Как говорил А. В. Шубников: «Важность всестороннего развития учения о симметрии диктуется потребностями не только того отдела кристаллографии, который занимается исследованиями структуры кристаллов, но и всей кристаллографии в целом и даже всего естествознания, поскольку свойствами симметрии в большей или меньшей степени обладает множество представителей живой и неживой природы; хорошо известно также, что понятие симметрии может быть распространено в равной степени на явления и законы природы» [244, с. 6].

Ортогональная классическая симметрия

В своей работе [64] А. В. Шубников приводит главнейшие исторические этапы развития геометрической кристаллографии в основном исходя из развития теории симметрии (табл. 1).

Продолжая эту таблицу до момента, когда в разработку учения об ортогональной симметрии включился А. В. Шубников, можно установить следующие этапы развития,[* Ссылки на первоисточники можно найти в кн.: Шафрановский И. Я. История кристаллографии. Л.: Наука. Т. 1, 1978; т. 2, 1980; Заморзаев А. М. Теория простой и кратной антисимметрии. Кишинев: Штиинца, 1976. 282 с.] заключающиеся в детализации теории

ортогональной симметрии и выводе «малых кристаллографических групп симметрии» (табл. 2).

Практически сразу же после появления всего приведенного цикла статей появляются первые работы А. В. Шубникова по исследованию правильных систем фигур на плоскости [48] и по проблемам интерференции плоских сеток.

Таблица 1

Год	Автор	Предмет открытия
1669	Стеной	Закон постоянства углов
1784	Гаюи	Закон целых чисел
1804—1809	Вейс	Закон зон
1825	Миллер	Индексы граней
1830	Гессель	32 класса симметрии
1850	Браве	14 пространственных решеток
1868—1869	Жордан	Непрерывные пространственные группы первого рода
1879	Зонке	Прерывные пространственные группы первого рода
1890	Федоров	Прерывные пространственные группы обоих родов
1891	Шенфлис	Групповой вывод всех 230 Федоровских групп

Таблица 2

Год	Автор	Предмет открытия
1867	Гадолин	32 точечные группы симметрии, понятие об инверсионной оси симметрии
1884	Кюри	7 предельных групп симметрии. Понятие

		о зеркальных осях симметрии
1885	Федоров	Определение зеркальных осей симметрии
1887	Миннигероде	Групповой вывод 32 кристаллических классов
1889	Гурса	Алгоритм вывода точечных четырехмерных групп
1891	Федоров	17 групп симметрии односторонних плоскостей
1924	Ниггли	Подробное описание 17 групп односторонних плоскостей
	Пойя	То же и указания на существование групп симметрии бордюров
1926	Ниггли	7 групп симметрии бордюров
1927	Шпайзер	31 группа симметрии лент
1929	Германн Вебер	75 групп симметрии стержней и 80 слоевых 80 слоевых групп
	Александер и Германн	80 слоевых групп
	Александер	75 стержневых групп-1-некристаллографические
	Хееш	80 слоевых групп из 17 двумерных 17 групп симметрии односторонних плоскостей
	Гинзбург	7 групп симметрии бордюров

Эта статья написана на основе двух других [34, 35], причем в них впервые предложено использовать явление муара не в ткацком деле, а применительно к нуждам оптической и

рентгеновской микроскопии. В своих воспоминаниях А. В. Шубников писал: «Занимаясь сортировкой шлифовальных наждаков с помощью сит, я заинтересовался явлением муара, наблюдаемым при наложении двух сит друг на друга. Уподобляя сита кристаллическим решеткам, я связал в дальнейшем явление муара с законами симметрии и вывел ряд закономерностей, относящихся к интерференции волн. Завершением этого цикла работ являются мои статьи по растровой оптике» [350, с. 31]. По словам Б. К. Вайнштейна: «Особо нужно отметить цикл работ А. В. Шубникова по растровой оптике, к которой он обращался в 1926—1929 и позже — в 1950— 1953 годах (см. [176, 185], — Я. Д.). В простейшем виде явления растровой оптики наблюдаются как муар, например при наложении сеток полупрозрачных тканей или трикотажа. А. В. Шубников еще до создания электронного микроскопа и современной рентгеновской интерферометрии понял, что здесь есть принципиальная возможность использовать „муар“ для наблюдений на атомном уровне, что позже блестяще оправдалось» [Л. 58, с. 6].

Прагматический подход к науке вообще в высшей степени характерен для творчества А. В. Шубникова. Так, только что выведенные бордюрные группы сразу же упомянуты им в статье [40], в которой предложена также первая классификация симметричных конфигураций. Все симметричные плоские фигуры разделены им на три категории: 1) розетки, 2) бордюры и 3) панно. В статье проиллюстрированы все 7 групп бордюров и 17 групп симметрии панно.

Следующий этап развития учения об ортогональной симметрии связан с подытоживающей статьей А. В. Шубникова «О симметрии континуума» [50]. Отталкиваясь от работ Е. Александера, в которых впервые разбирается некристаллографическая симметрия, автор доводит ее до предельной симметрии стержней, слоев и пространства, используя непрерывную трансляцию, поворот и винтовое перемещение. Система обозначений восходит к Шенфлису. Как видно из более поздней публикации, это обобщение теории симметрии возникло у А. В. Шубникова под влиянием трудов К. Жордана: «...понятие непрерывных пространственных групп выведено впервые Жорданом во второй половине 19 века. Но последний был чистым математиком, и потому сам не мог оценить того значения, которое могла бы иметь его работа для кристаллографии и физики. В свою очередь кристаллографы не обратили должного внимания на работу Жордана и после под влиянием работ Федорова и Шенфлиса продолжали заниматься отделкой деталей созданного ими грандиозного здания» [64, с.

801]. Работы Гесселя и П. Кюри также оказывали влияние на А. В. Шубникова. Далее он говорил: «Следующим неизбежным этапом развития геометрической кристаллографии должен быть вывод непрерывных групп обоих родов, то есть групп движений и групп движений с зеркальными отображениями. Этой задачей довелось заняться нам. С разрешением этой задачи геометрическая кристаллография вступает на уготованный ей историей путь для того, чтобы далее стать геометрией анизотропных сред, непрерывных или прерывных — все равно. Ставши на этот путь, геометрическая кристаллография теснейшим образом сливается с геометрией, с кристаллографией физической, а через нее с физикой и химией вообще» [64, с. 802].

В 1930 г. выходит статья А. В. Шубникова с принципиально новым развитием теории симметрии [55]. В ней вводится понятие семиконтинуума как среды, дискретной в одном и непрерывной в другом направлениях. В этом же году в работе Хееша впервые выведена 31 группа слоевых семиконтинуумов, 80 групп пространственных семиконтинуумов с одной непрерывной трансляцией и бесконечное число (75 кристаллографических) пространственных семиконтинуумов с двумя непрерывными трансляциями. В статье А. В. Шубникова изображена 31 группа симметрии лент, причем использован прием Вебера описания 80 слоевых групп с помощью черно-белых паркетов, заключающийся в раскраске лицевой и изнаночной сторон асимметричного треугольника в черный и белый цвета. Впоследствии это привело к оформлению принципа «антисимметрии» в трудах А. В. Шубникова.

Дальнейшее развитие принципов симметрии в трудах А. В. Шубникова можно разделить на три основных направления, связанных с группами изометрической симметрии и ее расширениями, уточнением и классификацией групп симметрии, философским осмыслением категорий симметрии и ее места в современной науке и искусстве. Статья А. В. Шубникова [70] предопределила дальнейшее развитие его творчества в области симметрии. Она начинается с примечательных слов: «...до сих пор только кристаллография для своего развития пользовалась учением о симметрии как специфическим методом познания. Правда, в разработке самого учения о симметрии огромное участие принимала и математика, но для математики само учение о симметрии никогда не было методом, а скорее частной задачей или теорий групп или теории чисел. Значит ли это, что учение о симметрии не может быть применено как метод работы в других науках и в частности в самой математике? Конечно нет ...» [70, с. 181]. В самой работе рассматриваются известные в то

время физические приложения теории симметрии. Статья заканчивается прозорливым выводом: «...кристаллографический метод в самом ближайшем будущем найдет себе широчайшее признание и употребление наряду с основными методами естествознания: математическим и философским умозрением, экспериментом и наблюдением» [70, с. 193]. И действительно, с 1929 по 1938 г. физику твердого тела охватило повальное увлечение симметрийным аппаратом, впоследствии охарактеризованное Е. Вигнером как «групповая чума».

Последовательно рассмотрим главные направления развития теории симметрии в трудах А. В. Шубникова и его последователей и тем самым оценим не только личный вклад А. В. Шубникова, но и перспективы развития каждой конкретной области его деятельности.

Знаменательным событием был выход в свет монографии А. В. Шубникова «Симметрия» [132], носившей подзаголовок: «Законы симметрии и их применение в науке, технике и прикладном искусстве». В этой монографии, как в фокусе, собраны все известные в то время достижения теории симметрии. Вначале (во введении) автор анализирует понятие равенства как основу геометрической закономерности и учения о симметрии, и вводит понятие симметрии: «Мы будем называть симметричным такой предмет, который состоит из геометрически и физически равных частей, должным образом расположенных относительно друг друга» [132, с. 8]. Здесь же анализируются отклонения от симметрии и высказывается предположение о том, что «изучение несовершества симметрии оказывает большую услугу разработке вопросов симметрии...». В небольшом параграфе «Симметрия как особый род геометрической закономерности» можно найти истоки по меньшей мере трех направлений, возникших намного позднее: принципа симметризации-диссимметризации, черно-белой симметрии и принципа построения «составных групп», в конечном итоге вылившихся в W-симметрию Копцика.

Автор последовательно рассматривает основные типы симметричных конфигураций начиная с односторонних розеток. По определению А. В. Шубникова: «Односторонней розеткой мы называем фигуру, в которой имеется хотя бы одна особенная полярная плоскость и хотя бы одна особенная точка» [132, с. 32]. По классификации Холзера—Шубникова—Бома, односторонние розетки имеют обобщенный символ G_{20}. Здесь имеет смысл остановиться на вопросах классификации типов групп симметрии, поскольку приведенное определение односторонней розетки уже содержит указание на классификационные признаки, основанные на особых элементах пространства. В неявной форме

это учтено и А. В. Шубниковым в его «Симметрии», поскольку известное тогда множество фигур с ортогональной симметрией разделено на односторонние розетки, фигуры с особенной точкой (в том числе с особенной плоскостью и без нее), бордюры, ленты, стержни, сетчатые орнаменты, слои и федоровские группы. Процесс разработок классификационных принципов был начат А. Ниггли и расширен Н. В. Беловым и Н. Н. Нероновой. Однако, как отмечено Шубниковым [263—265], Холзером и Бомом, их схема оказалась неполной. Тогда ими было предложено классифицировать группы по размерности соподчиненных особенных элементов, инвариантных относительно преобразований групп симметрии. В конечном итоге подробная систематика групп ортогональной и черно-белой симметрии была построена Н. Н. Нероновой.

В следующем разделе А. В. Шубников изучает фигуры с особенной точкой, или, иными словами, точечные группы, символ которых G_{30}. При этом на примере куба автор вводит представление о симметричных разновидностях простых форм, что послужило толчком для Г. Б. Бокия к выводу 146 (193) физически различных простых форм кристаллов, а впоследствии к появлению 1403 структурногранных разновидностей простых форм, предложенных И. И. Шафрановским.

В границах точечных групп фактически выделены группы односторонних розеток G_{20}, двусторонних розеток G_{320}, точечные группы G_{30} и отдельно — предельные точечные группы, причем предельные группы симметрии использованы для классификации направленных величин. Здесь содержатся наметки для развития в дальнейшем теории симметрии векторов и тензоров, что оказало существенное влияние на многие вопросы физической кристаллографии и будет рассмотрено позже.

Следующий раздел монографии посвящен фигурам без особенной точки, в первую очередь бордюрам «как группам без особенных точек, но с особенной полярной плоскостью и единственной осью переноса» [132, с. 72]. Всего выведено 7 групп G_{2I}. Определив ленты G_{321} как «фигуры с особенной (полярной или неполярной) плоскостью, параллельно которой проходит ось переносов» [132, с. 76, 77], автор далее выводит 31 группу G_{321} и при этом отмечает, что существенно различных лент, рассматриваемых как стержневые группы, только 22, поскольку стержень — это «фигура без особенных точек и плоскостей, но с единственным особенным направлением» [132, с. 81]. Попутно в этом параграфе рассмотрена типология винтовых осей симметрии, включая винтовые оси с бесконечным элементарным переносом. На основе комбинирования дискретных и

непрерывных элементов симметрии автором разработана типология предельных групп симметрии стержней, в том числе 7 групп, порожденных 5 предельными точечными и дискретной трансляцией; бесконечное разнообразие стержневых групп с непрерывной трансляцией и дискретной точечной и с обоими непрерывными порождающими элементами. Здесь же доказывается, что любое симметричное преобразование пространства может быть реализовано отражениями максимум в четырех плоскостях, которые сами по себе не обязаны быть реальными плоскостями симметрии. Это выводится из утверждения Г. В. Вульфа о главенствующей роли плоскости симметрии среди прочих симметричных преобразований или теоремы Болдырева. На основе этого фундаментального положения предлагается еще одно определение симметрии: «Симметричной называется всякая фигура, которая может совмещаться сама с собой в результате одного или нескольких последовательно произведенных отражений в плоскостях» [32, с. 97].

Далее автор переходит к выводу сначала 17 двумерных групп G_2, а затем приводит список всех 8G групп симметрии слоев G_{32}, проиллюстрированных рисунками, кочующими из работы в работу с того момента, когда они впервые были нарисованы Вебером.

А. В. Шубников иллюстрирует группы симметрии либо различными орнаментальными мотивами, либо интерференционными картинами. В этом же параграфе дана фактически сводка параллелогонов, заполняющих плоскость параллельными переносами и смежных по целым ребрам, планигонов, заполняющих плоскость в любом положении, полных и неполных плоских изотонов ⁝— многоугольников, в каждой вершине которых сходится одно и то же число ребер, причем многоугольники заполняют плоскость без промежутков. Эта тема в творчестве А. В. Шубникова имеет свою предысторию и заслуживает отдельного рассмотрения [132, с. 58]. Далее автор получает 7 групп симметрии плоских односторонних семиконтинуумов, а затем переходит к слоевым группам и соответствующим им континуумам и семиконтинуумам (31 группа). При весьма схематичном рассмотрении федоровских групп, что обусловлено объемом книги и ее ориентацией на непрофессионалов, уделено внимание плотнейшим упаковкам (по Н. В. Белову), теории параллелоэдров и стереоэдров, определению групп симметрии континуумов и семиконтинуумов.

Анализируя монографии по теории симметрии, можно сказать, что «Симметрия» А. В. Шубникова — явление

уникальное, поскольку, если не считать работ по орнаментам или по проявлению упорядоченных форм в природе, собственно симметрии и ее проявлениям в природе в самом широком смысле этого слова посвящены, пожалуй, лишь работы его учителя Г. В. Вульфа. Только в 50—60-х годах нашего столетия появились многочисленные публикации по этому вопросу, из которых сопоставимой можно считать только вышедшую в 1968 г. работу Г. Вейля «Симметрия», а также расширенное и дополненное новое издание книги А. В. Шубникова, вышедшее в соавторстве с В. А. Копциком [344].

В 1940 г. увидела свет написанная совместно с Г. Б. Бокием и Е. Е. Флинтом книга А. В. Шубникова «Основы кристаллографии» [134], завершившая представительный ряд фундаментальных трудов наших соотечественников: Е. С. Федорова, В. И. Вернадского, Б. Н. Делоне, А. Д. Александрова, безвременно скончавшегося В. В. Доливо-Добровольского, А. К. Болдырева и др.

Начиная с монографии [132], А. В. Шубников систематически дополняет и совершенствует разработанную им систему обозначений групп симметрии., отличавшуюся от интернациональной символики, введенной впервые К. Германном в 1929 г. и Ш. Могеном в 1931 г.

Рассмотрим последовательно развитие ортогональной симметрии в трудах А. В. Шубникова и его коллег, генезис антисимметрии и ее расширений, развитие теории симметрии подобия.

В Атласе кристаллографических групп симметрии [150] впервые в отечественной литературе приведен полный иллюстрированный каталог всех в то время известных дискретных групп ортогональной симметрии, причем даже в самих названиях отражены физические приложения рассматриваемых групп.

В «Атласе» даны изображения: 10 групп симметрии форм граней (G_{20}); 31 группа симметрии форм двумерных кристаллов (таблетки G_{320}); 32 группы симметрии форм кристаллов (G_{30}); 7 групп симметрии ребер (бордюров G_{21}); 29 полярных стержневых групп, входящих в состав 75 групп симметрии рядов (G_{31}); 17 групп симметрии граней (G_2); 80 групп симметрии слоев (G_{32}); 230 пространственных групп G_3.

«Диссимметрия» А. В. Шубникова [151] — одна из замечательных статей, в которой объединено несколько важных для теории симметрии положений. В первую очередь, следуя П. Кюри, автор окончательно дает определение диссимметрии: «...мы будем называть элементами диссимметрии данной группы

те из элементов симметрии высшей взятой для сравнения группы, которые выпадают из нее при переходе к данной группе, являющейся подгруппой высшей группы. Иначе говоря, элементами диссимметрии данной группы будем называть те элементы симметрии, которые нужно добавить к данной группе, чтобы она преобразовалась в высшую группу, сравниваемую с данной» [151, с. 158]. Проанализировав вопрос существования диссимметрии, автор приходит к выводу: «...каждой группе симметрии можно при желании найти высшую группу, по отношению к которой данная группа симметрии будет подгруппой» [151, с. 162]. Отсюда исходят многие из современных методов расширения групп ортогональной симметрии. Исследовав вопрос о минимальной симметрии, автор приходит к заключению: «...мы...должны сделать вывод о принципиальной неисчерпаемости симметрии не только в направлении поисков высших групп симметрии, но и в обратном стремлении найти минимальную симметрию» [151, с. 163].

В 1948 г. вышли две работы А. В. Шубникова [158, 160]. Первую из статей проанализируем при рассмотрении групп аффинной симметрии. Вторая статья посвящена получению групп G_{30} абстрактно-групповыми методами, и тогда группы симметрии 2, т и I абстрактно изоморфны, поэтому 32 кристаллографическим группам соответствует лишь 18 точечных абстрактных. В заключении авторы пишут: «Принимая такую классификацию, мы тем самым соглашаемся считать одинаковыми многие из тех групп, которые в обычной классификации трактуются как различные; в частности, с новой точки зрения одинаковыми должны считаться моноклинные группы C_2 и C_s с триклинной C_h Между тем кристаллы, отвечающие этим группам, обладают совершенно различными свойствами. Поэтому для целей кристаллографии классическое разделение на 32 группы остается неизменным» [160, с. 672].

Дальнейшее углубление теории дискретных групп ортогональной симметрии в трудах А. В. Шубникова и ее рассмотрение в историческом аспекте немыслимо без анализа общего состояния этой теории. К началу 50-х годов нашего столетия теорию ортогональной симметрии можно было в целом считать законченной, однако существовало, да и сейчас существует, множество вопросов, нуждающихся в уточнении, дополнении, упрощении. Не секрет, что вывод 230 групп, данный в свое время Е. С. Федоровым и А. Шенфлисом, весьма сложен для восприятия, а модифицированное их повторение С. А. Богомоловым не менее трудно для понимания. Проблема наглядного вывода федоровских групп решена в работах Н. В.

Белова, посвященных как отдельным вопросам строения федоровских групп (Браве-решеткам, элементам симметрии пространственных федоровских групп), так и самому выводу в популярном «Классном методе вывода пространственных групп симметрии», увидевшем свет в 1951 г. Н. В. Белов неоднократно возвращался к этой проблеме, постоянно упрощая и делая все более наглядным механизм «порождения» одних групп другими.

Детализация учения об ортогональной симметрии привела к своеобразному «размежеванию» школ А. В. Шубникова и Н. В. Белова. Действительно, в трудах А. В. Шубникова в основном рассматриваются проблемы уточнения и классификации свойств точечных групп симметрии [240, 258, 299, 300, 329], в то время как в рамках школы Н. В. Белова, помимо максимального внимания к федоровским группам и 14 решеткам Браще, развивается и дополняется учение об одномерных и двумерных малых кристаллических группах, рассматриваются проблемы их классификации, где интересы А. В. Шубникова и Н. В. Белова пересекаются. А вот работы по точечным группам в рамках школы Н. В. Белова скорее исключение, чем правило, да и они рассматриваются больше с пространственных, чем с «точечных» позиций. Поэтому для школы Н. В. Белова и логичен интерес к выводу вначале четырехмерных решеток Браве (на основе известной теоремы Цассенхауза, для получения групп G_4 достаточно знать решетки и точечные группы G_{40}), а затем и самих групп. Иной подход к «малым многомерным» группам симметрии типа G_{41}, G_{42}... характерен для А. Ф. Палистранта в рамках общей систематики групп вида G_{pqrs}. Отметим, что алгоритм отыскания четырехмерных точечных групп был найден Э. Гурса в 1889 г. (G_4 = прямому произведению групп дробно-линейных преобразований), а в 1951 г. Харли нашел почти все четырехмерные кристаллографические группы. В 1967 г. их число было уточнено до 227.

Несколько в стороне от работ А. В. Шубникова по симметрии стоит его статья 1956 г. [219]. По словам В. А. Копцика: «Принцип Пьера Кюри, воскрешенный из забвения и заново прочитанный Шубниковым..., породил обширную литературу»,[* Копцик А. В. Очерк развития теории симметрии и ее приложений к физической кристаллографии за 50 лет. — Кристаллография, 1967, т. 12, вып. 5, с. 768.] в которой краткие соображения, извлеченные из трудов П. Кюри, легли в интерпретации А. iВ. Шубникова и его учеников в основу решения многих вопросов физической кристаллографии. Эта статья стала центральной в философском жанре литературы о симметрии. Ее тема, беря свое начало в ранних статьях Шубникова [70, 124, 151], находит окончательное решение в

работе [261] и в книжке [343], вышедшей уже посмертно в 1972 г.

Следующая, чрезвычайно важная серия работ А. В. Шубникова и его учеников связана с предельными группами ортогональной симметрии и их приложениями к физической кристаллографии. Поскольку физическая кристаллография в трудах А. В. Шубникова выделена в отдельную главу, то во всех рассматриваемых работах будут анализироваться только те разделы, которые связаны с развитием собственно теории симметрии. Основоположником этих проблем следует считать П. Кюри, и это легко установить по высказываниям А. В. Шубникова: «Основная заслуга Пьера Кюри заключается в том, что он, занимаясь вопросами симметрии конечных фигур, как кристаллографических, так и некристаллографических, точно установил существование семи предельных групп симметрии, содержащих оси бесконечного порядка. Он же убедительно показал, что предельные группы симметрии могут быть успешно использованы для описания физических свойств кристаллов. Таким образом, явно „некристаллографические“ группы оказались в некотором смысле типично кристаллографическими» [343, с. 33, 34].

Каким же образом А. В. Шубниковым была развита теория предельных групп симметрии? Как было упомянуто ранее, впервые понятие предельных групп симметрии выкристаллизовалось в его монографиях, вышедших в 1940 г. После выхода в свет книги [132] А. В. Шубников вновь возвращается к этой тематике в своих работах 1944 г. [145, 147], за которыми в 1946 г. появилась монография, посвященная этому же вопросу [149]. Определение текстуры, данное А. В. Шубниковым, практически остается в силе и по настоящее время: «Под текстурой мы разумеем всякое однородное тело нерешетчатой структуры, состоящее из множества элементарных частиц любой физической природы, определенным образом (по законам симметрии) ориентированных в пространстве. Примерами текстур могут служить: кристаллические текстуры, состоящие из ориентированных игольчатых или пластинчатых кристаллов; волокнистые материалы вроде дерева; смектические (слоистые) жидкие кристаллы; неслоистые (нематические) жидкие кристаллы, состоящие из ориентированных по длине молекул...» [198, с. 5]. В этих работах практически полностью использованы все основные типы предельных групп симметрии и группы семиконтинуумов. Важность развития этого направления подчеркнута во введении к избранным трудам А. В. Шубникова: «Идея о возможности управления свойствами материалов при частичном упорядочении ориентировок кристаллитов,

образующих текстуру, стала сейчас обычной. Она широко используется при создании многих практически важных материалов, прежде всего сегнетоэлектрических керамических текстур — самого распространенного пьезоэлектрика современной пьезотехники, гидроакустики, техники связи. Идеи А. В. Шубникова о симметрии и свойствах подобных анизотропных сред вошли не только в практику. На их основе продолжают решаться многие задачи кристаллофизики» [350, с. 4]. Это направление нашло продолжение в работах И. С Желудева, Ю. И. Сиротина и др. Дальнейшее обобщение состояло в получении групп антисимметрии текстур, также разработанных А. В. Шубниковым [234]. Предельные группы антисимметрии текстур, вначале под флагом предельных точечных групп антисимметрии, появились в его известной работе [173], а в 1960 г. Б. А. Тавгер продемонстрировал их физическую реальность.

Теория предельных групп симметрии, восходя к ранним работам Шубникова, Кюри, Хееша, завершилась работой А. В. Шубникова [162], открывшей с помощью теории симметрии новую главу «тензорной кристаллографии». «Известно, — пишет сам автор, — что многие физические явления, происходящие в кристаллах, могут быть описаны с помощью векторов и тензоров. Приписывая физическим явлениям определенную симметрию, естественно перенести понятие симметрии и на те величины, которыми эти явления описываются, то есть на векторы и тензоры. Первой задачей, которую мы себе ставим в настоящей работе, как раз и является установление понятия симметрии векторов и тензоров. Вторая наша задача состоит в выводе всех возможных групп симметрии векторов и тензоров» [162, с. 347]. Эта работа генетически восходит к книге А. В. Шубникова, Г. Б. Бокия и Е. Е. Флинта [134]. В 1949 г. вышла работа А. В. Шубникова [164]. Дальнейшее уточнение и расширение этих понятий связано в первую очередь с работами И. С. Желудева, В. А. Копцика (особо следует отметить его «Шубниковские группы»).

В. Е. Найша, Ю. И. Сиротина (наиболее полные таблицы размерностей групповых тензорных пространств), Л. А. Шувалова (предельные группы двойной антисимметрии) и др.

Антисимметрия и ее обобщения

По словам Б. К. Вайнштейна, в современной кристаллографической литературе общепризнано, что «вершиной творчества Алексея Васильевича в области теории симметрии

явилось открытие антисимметрии. Рожденное в чистых высотах абстракций обобщение понятия кристаллографического равенства фигур и введение антиравенства привели в дальнейшем к появлению целого потока работ по черно-белой и цветной симметрии ... во всех этих работах теория симметрии получила выход за рамки геометрического трехмерного пространства, что явилось крупнейшим после работ Е. С. Федорова обобщением» [350, с. 8].

Генезис понятия антисимметрии, сформулированного А. В. Шубниковым, по характеристике А. М. Заморзаева, можно описать следующим образом: «Высказанная Шпайзером и практически осуществленная Вебером идея изображения двусторонней плоской фигуры (ленты, слоя) на односторонней плоскости чертежа с помощью черного и белого цвета, соответствующих „лицу" и „изнанке" фигуры, произвела глубокое впечатление на Г. Хееша и А. В. Шубникова...

Для Хееша был вполне естественен скачок на одно измерение выше: от разработки принципа вывода 80 слоевых групп (в качестве черно-белых двумерных) непосредственно из 17 плоских федоровских к попытке вывода четырехмерных „гиперслоевых" групп (в виде черно-белых трехмерных) и 230 федоровских; попутно им были получены 122 четырехмерные точечные группы с особенной (инвариантной) гиперплоскостью (как черно-белые трехмерные точечные) из 32 гадолинских классов. Хееш интересовался прежде всего геометрической задачей многомерного обобщения классических групп, лишь мимоходом указав на возможность физического толкования знака четвертой координаты: для математической четкости вопрос и формулировался на „четырехмерном“ языке, отпугивавшем кристаллографов. Отчасти поэтому его новаторские работы не были своевременно оценены кристаллографами, а математики и физики просто не заметили статей Хееша в кристаллографическом журнале.

Иначе подходил к идее антисимметрии А. В. Шубников. Построив в своей книге „Симметрия" под впечатлением рисунков Вебера интерпретацию ленточных групп чернобелыми бордюрами... и воспроизведя впоследствии те и другие рисунки... он не сразу перешел к следующему измерению. Считая, что „дальнейшее усовершенствование учения о симметрии может иметь смысл лишь в том случае, если оно находит или найдет в будущем себе оправдание в практике естествознания" ([148, с. 76], — Я. Д.), Шубников мог сформулировать понятие антисимметрии только как принципиальное расширение классической симметрии за счет добавления изменения

физического свойства. Глубокое убеждение в прикладной ценности развиваемого им учения, разделявшееся далеко не всеми кристаллографами до работ Кокрена, привело ведущего советского кристаллографа от докладов к монографии „Симметрия и антисимметрия конечных фигур“, вышедшей в 1951 году».[* Заморзаев А. М. Теория простой и кратной антисимметрии. Кишинев: Штиинца, 1976, с. 8, 9.] Вот что пишет по этому поводу Б. Н. Делоне: «Комитет по присуждению Государственных премий колебался, за какое изобретение наградить Алексея Васильевича: за текстуры или за черно-белые группы. Уже перед самим решением вопроса просили меня ответить, что я думаю. Когда Алексей Васильевич выдумал черно-белые группы и нашел, что таких точечных групп 58, он, чувствуя, что это все-таки уже совсем математика, прочел об этом доклад у нас в совете Математического института АН СССР. С точки зрения математика это был вопрос о гомоморфных отображениях 32 точечных групп на группу второго порядка. Вопрос, так сказать, тривиальный и не очень сложный. Поэтому я ответил комитету, что лучше дать премию за текстуры, и А. В. Шубников был удостоен за эти исследования Государственной премии.

Теперь я вижу, что я, как математик, глубоко ошибался. Хотя и правда, что Г. Хееш нашел те же 58 групп гораздо раньше А. В. Шубникова, о чем Алексей Васильевич, конечно, не знал, но его работа не была замечена. Это же открытие А. В. Шубникова, изложенное им в книге „Симметрия и антисимметрия конечных фигур“, положило начало огромному потоку работ по таким же и еще более общим группам, которые оказались очень полезными для разных исследований в физике твердого вещества и кристаллографии... Конечно, правы те, которые говорят, что после исследований А. В. Гадолина, Е. С. Федорова и А. Шенфлиса в теории кристаллографических групп самые важные — это работы А. В. Шубникова об обобщенных группах симметрии» [Л. 57, с. 382—384].

Рассмотрим содержание замечательной работы А. В. Шубникова, написанной в 1945 г. [148]. Приводимые ниже слова автора полностью характеризуют ученого и как кристаллографа-теоретика, и как кристаллографа-практика, чем и объясняются его блестящие достижения: «Первое, на чем мы настаиваем, — это, если позволительно так выразиться, узаконение фактического положения вещей в отношении практики интерпретации симметрии материальными фигурами. Мы не можем целиком согласиться с мнением некоторых математиков, для которых учение о симметрии есть просто учение о группах ортогональных преобразований. Для нас корни его лежат в

широко понимаемом естествознании; мы не можем отделить операцию преобразования от объекта исследования; не можем говорить, в частности, о группе симметрии, определяемой одной осью симметрии бесконечного порядка, не имея в руках соответствующего образца фигуры. Симметрия есть широко распространенное явление природы, и его нельзя отождествлять с той или иной математической интерпретацией симметрии» [148, с. 76].

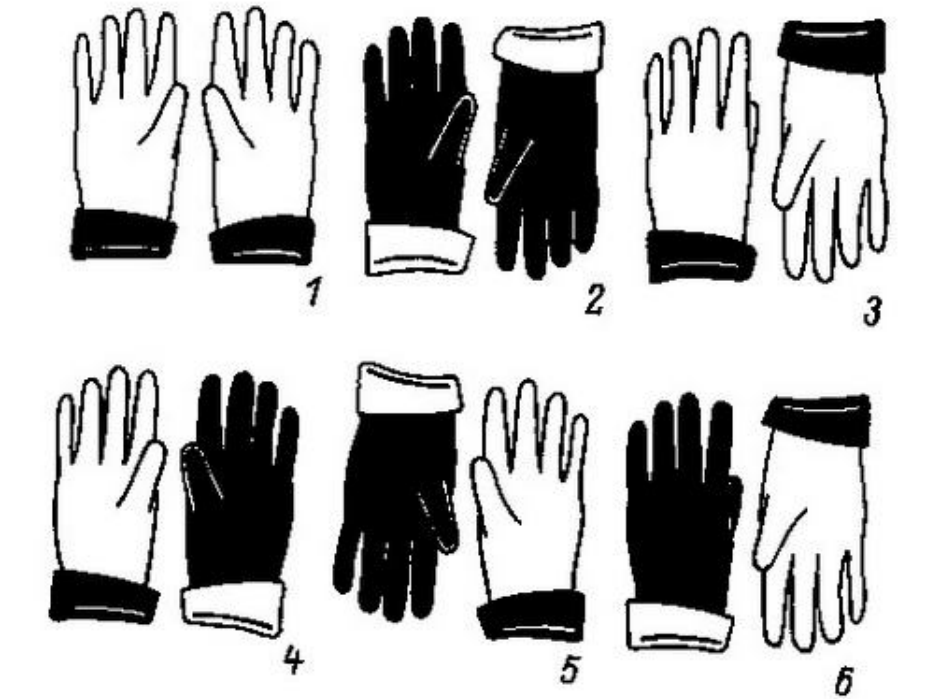


Рис. 1. Фигура двухсторонней симметрии и антисимметрии.
1 — части фигуры связаны плоскостью симметрии; 2 — осью второго порядка; 3 — центром инверсии; 4 — плоскостью антисимметрии; 5 — осью антисимметрии второго порядка; 6 — центром антисимметрии.

Именно такой принцип мышления привел А. В. Шубникова к успеху, ведь недаром считается, что симметрия — это метод мышления, а не просто набор групп преобразований. В той же статье автор пишет (рис. 1): «Мы определили выше материальную фигуру как геометрическую фигуру плюс свойство; приписав геометрической фигуре свойство знака, мы приходим к представлению о фигуре полярной — такой фигуре, которая может быть в зависимости от обстоятельств положительной или отрицательной... Понятием полярной фигуры также успешно пользовались до сих пор, не употребляя самого термина,

например, в теории поля и векторном исчислении под именем источников и стоков, но в учение о симметрии оно вводится нами впервые... Вводя понятие полярной фигуры, мы уже в силу логической необходимости должны ввести и понятие нейтральной фигуры — фигуры, знака не имеющей, или, формально говоря, фигуры одновременно положительной и отрицательной... Необходимо указать еще на возможность существования фигур смешанной полярности, то есть фигур, которые состоят из положительных и отрицательных частей» [148, с. 216]. Далее автор пишет: «Подобно тому, как правая фигура может быть равна левой, так, по нашему предположению, положительная фигура может быть равна отрицательной. Это вид равенства назовем противоположным равенством или антиравенством. Так как антиравные фигуры должны быть в то же время зеркально, совместимо или одновременно зеркально и совместимо равны друг другу, то следует различать: зеркальное, совместимое, а также двойное (совместимо-зеркальное) антиравенство фигур» [148, с. 217, 218]. В своей работе А. В. Шубников вводит новые симметричные преобразования: «...все новые симметрические преобразования должны иметь в качестве составного элемента операцию перемены знака фигуры... Новым операциям мы дадим старые названия с добавлением приставки анти и будем, следовательно, говорить об антивращении, антиотражении, зеркальном антивращении и т. д.» [148, с. 222]. Здесь начало всей теории антисимметрии. Однако А. В. Шубников в этой статье наметил не только контуры теории антисимметрии, но и кратной антисимметрии. Действительно: «Если материальную фигуру со знаками (или знаком) одного сорта позволительно рассматривать как четырехмерную фигуру особого рода, то есть как фигуру, в которой интересен лишь знак четвертой координаты, а не ее абсолютная величина, то фигуру со знаками двух сортов следует уже рассматривать как фигуру пяти измерений. Ясно, что принципиально можно идти и далее в этом направлении, и тогда абстрактная материальная фигура, долженствующая отображать действительность по необходимости не полно, представится нам снабженной множеством разнообразных этикеток плюсов и минусов, напоминая собой облепленный всевозможными ярлыками чемодан путешественника, изображающий также несовершенно, однако более совершенно, чем чемодан без ярлыков, историю поведения своего хозяина» [148, с. 219].

В заключении, которое мы приведем почти полностью, поскольку в нем четко сформулированы задачи учения о симметрии, достигнутые успехи и перспективы развития, автор

говорит: «Задача усовершенствования учения о симметрии, которую мы себе ставим, задача, целиком основанная на операции перемены знака фигуры, с математической точки зрения, очевидно, сводится к выводу и исследованию всех групп симметрии (групп ортогональных преобразований) трехмерных фигур в четырехмерном пространстве. С точки зрения естествоиспытателя она сводится к интерпретации этих групп материальными трехмерными фигурами, к изображению и объяснению с их помощью известных явлений природы и предвидению новых.

Часть этой проблемы нами уже решена. Нами выведены все группы симметрии конечных кристаллографических материальных фигур, то есть все точечные группы фигур, удовлетворяющих закону рациональности параметров. Общее их число оказалось равным 122. Из них... 58 групп относятся к фигурам смешанной полярности. Далее мы установили 17 точечных групп с бесконечными осями. Эти группы, хотя и не относятся к кристаллографическим в узком смысле, но играют в кристаллографии громадную роль и должны, по нашему мнению, найти полезное применение во многих вопросах физики.

В настоящее время мы заняты вопросом выявления на основе новых представлений всего многообразия простых форм. Самая важная и трудоемкая задача — задача использования пространственных групп, которая должна с наибольшей полнотой осветить проблему структуры кристаллов, пока еще совсем не начата. Впереди маячат и другие важные проблемы симметрии, совсем не задетые в нашем обзоре: проблема диссимметрии, проблема материальных фигур многообразной полярности и т. д. Для нас ясно, что учение о симметрии отнюдь не может считаться законченной областью знания: оно будет жить и развиваться вместе с наукой в целом, с естествознанием в особенности и с его составной частью — кристаллографией» [148, с. 227].

Следующие работы, посвященные той же тематике, увидели свет только в 1951 г., причем за это время никаких существенных сдвигов в теории не произошло. В докладе [172] и главным образом в монографии [173] в более развернутом виде с использованием черно-белых иллюстраций был повторен вывод 58 точечных групп антисимметрии (младших). Помимо Г. Хееша и А: В. Шубникова, точечные группы антисимметрии выводили Б. А. Тавгер и В. М. Зайцев, В. Л. Инденбом (на основе теории неприводимых представлений групп, причем были выведены и группы цветной симметрии и группы предельной (магнитной) симметрии) и А. Ниггли. В 1966 г. В, А. Копцик в своей «энциклопедии» дал их графические изображения.

Практически развитие этого направления можно датировать 1951 г. в связи с выходом в свет работы А. В. Шубникова [173]. Спустя два года появились две работы У. Кокрена, в которых показана возможность использования идеи антисимметрии для решения некоторых вопросов структурной кристаллографии. В Советском Союзе вывод точечных групп симметрии и антисимметрии был распространен на пространственные группы. Общая теория пространственных групп антисимметрии (названных шубниковскими) была разработана А. М. Заморзаевым, и им же был осуществлен их вывод. Впоследствии под его руководством сформировалась Кишиневская школа теории симметрии," которая с середины 60-х годов занимает лидирующее положение в деле обобщения понятий симметрия и вывода соответствующих групп.

В 1954 г. выходит статья А. В. Шубникова [194], в которой рассмотрены пути приложения теории антисимметрии к классификации колеблющихся молекул, в квантовой механике, в рентгеноструктурном анализе. Впоследствии прогнозы Шубникова подтвердились.

В следующем году на основе работы Н. В. Белова был осуществлен вывод групп черно-белой симметрии. Этот вывод, видимо, был стимулирован возможностью использования шубниковских групп в рентгеноструктурном анализе. Вывод шубниковских групп был реализован с различных методологических позиций: методом «замены образующих» (Шубников-Заморзаев) и методом «цветного центрирования» (Белов). Перекрестное сравнение результатов позволило точно фиксировать и число шубниковских групп. К 1963 г. В. А. Копцик осуществил третий вывод шубниковских групп, построил их графические изображения по принципу Интернациональных таблиц и в целях большего удобства для кристаллоструктурщиков разработал так называемую двухчленную символику. С 1958 г. появляются многочисленные приложения шубниковских групп антисимметрии к проблемам физики кристаллов.

Малые кристаллографические (и некристаллографические) группы антисимметрии появились позже. Вначале наибольшее внимание было уделено 17 двумерным федоровским группам. Первым этими вопросами занимался Кокрен (по Веберу), затем Н. В. Белов, Н. Н. Неронова и Т. С. Смирнова в 1955 г., снова Н. В. Белов — в 1959 г. и через год — А. М. Заморзаев и А. Ф. Палистрант при этом первые авторы использовали метод цветного центрирования, вторые — шубниковский метод замены образующих у 17 плоских. Оба метода дали 46 существенно новых черно-белых групп.

Слоевые группы антисимметрии независимо друг от друга были получены в 1961 —1963 гг. двумя группами исследователей — Н. Н. Нероновой и Н. В. Беловым, а также А. Ф. Палистрантом и А. М. Заморзаевым. Существенно новых групп оказалось 368. Н. Н. Неронова и Н. В. Белов методом цветного центрирования вывели 244 группы антисимметрии стержней. Другими методами этот результат был повторен Э. И. Галярским и А. М. Заморзаевым в 1965 г.

В 1958 г. во втором издании брошюры [232] А. В. Шубников «оперативно» реагирует на бурное развитие теории симметрии: «Вслед за первой работой по антисимметрии, посвященной выводу групп антисимметрии конечных фигур, появились работы, в которых этот вывод был распространен на бесконечные фигуры типа кристаллических решеток (Н. В. Белов, А. М. Заморзаев). Антисимметрию иногда можно представлять как „двухцветную" (черно- белую) симметрию, и тогда она находит отклик в „многоцветной симметрии", начало которой положено Н. В. Беловым. Установленные нами 58 черно-белых групп конечных фигур оказались совпадающими с группами магнитной симметрии кристаллов (Б. А. Тавгер, В. Н. Зайцев). Число бесконечных черно-белых групп, установленное указанными выше авторами и их учениками, составляет 1651, причем нетрудно представить их в виде единой, легко обозреваемой системы, подчиняющейся системе 230 федоровских групп» [232, с. 9]. В том же году А. В. Шубников получил 21 предельную точечную группу антисимметрии, и результаты вывода тут же использовал для описания антисимметрии текстур [234]. В 1959 г. появляется статья А. В. Шубникова [241], в которой выведены предельные группы антисимметрии стержней. В заключении статьи указывается рецептура построения семиконтинуумов с помощью двух непараллельных трансляций, перпендикулярных оси «порождающего» стержня.

В 1961 г. выходит работа А. В. Шубникова [258], написанная, как указывает автор, по образцу опубликованной в 1959 г. полной систематики точечных групп классической симметрии. Все группы автор подразделяет на 14 рядов, каждый из которых порождает одинаковое количество черно-белых, в свою очередь разделенных на 27 бесконечных рядов групп некристаллографической антисимметрии.

В следующем году А. В. Шубников вывел группы (классы) симметрии и антисимметрии конечных и бесконечных лент [263, 264]', в которых он дополнил уже сложившуюся классификацию групп ортогональной и чернобелой симметрии. Группы антисимметрии конечных лент он получил, используя методы Н.

В. Белова. Эти же группы были независимо получены в работах Н. В. Белова и его учеников, а также Т. Романом и А. Пабстом.

Последние работы А. В. Шубникова по антисимметрии 1965—1968 гг. посвящены уточнению классификации точечных групп симметрии и получению (на основе принципов антисимметрии) всех 32 кристаллографических классов из 11 аксиальных [299, 300, 329, 332, 335].

Этапы развития антисимметрии приведены в табл. 3, вне которой остались многочисленные усовершенствования системы обозначений групп антисимметрии, работы по их использованию при исследовании природных явлений, структур, форм.

Следующим чрезвычайно интересным расширением понятия антисимметрии является антисимметрия различного . рода. Вот каким образом возникло это направление теории симметрии, восходящее, очевидно, к высказыванию А. В. Шубникова в работе [148]: «При подробной разработке... учения о симметрии и антисимметрии конечных фигур А. В. Шубников остановился преимущественно на черно-белой интерпретации антисимметрии как на самой наглядной и общедоступной. Однако уже в первом своем сообщении об идее антисимметрии в 1945 году он говорит не только о широком разнообразии толкований знака плюс или минус, но и о возможности одновременно приписывать точкам несколько качественно различных знаков (фигуры многообразной полярности). Спустя десятилетие, под влиянием появления первых приложений антисимметрии эту же идею многократной антисимметрии стали развивать (независимо от ее высказывания Шубниковым) молодые математики Кишиневского университета... под названием антисимметрии различного рода...

Таблица 3*

Год	Автор	Открытие или вывод
1929—1930	Хееш	G'_2, G'_{30}, G'_3 (низшие сингонии)
1945—1951	Шубников	Принцип антисимметрии G'_{30}, 31 группа G'_{320}, 17 предельных G'_{30}
1952	Кокрен	G'_2 через G'_{32}
1953	Заморзаев	G'_3
1955	Белов, Неронова, Смирнова	G'_3

1956	Белов	G'_{21}
1958	Шубников	21 предельная G'_{30}
1959	Шубников	G'_{321} и семиконтинуумы
1959	Роман	G'_{321} как G'_{432}
1960	Новацкий	G'_{20}, G'_{320}
1961	Неронова, Белов	G'_{0}, G'_{10}, G'_{21}, G'_{31}, G'_{32}
	Шубников	21 предельная G'_{30}
1962	Пабст	G'_{321}
	Шубников	G'_{3210}, G'_{321}
	Белов, Кунцевич, Неронова	G'_{321}
	Роман	G'_{321}
1963	Палистрант, Заморзаев	G'_{32}
1964	Палистрант, Заморзаев	G'_{1}, G'_{21}, G'_{321}
1965	Палистрант	G'_{210}, $G'З_{20}$ и повторил G'_{210}, G'_{3210}, G'_{20}
	Галярский, Заморзаев	G'_{31}
1966	Копцик	G'_{30}, G'_{3} предельные G'_{30}
1967	Неронова	Классификация всех групп
1971	Роман	G'_{31} и некристаллографические

** Ссылки на первоисточники содержатся в монографии А. М. Заморзаева (см. с. 70).*

Таблица 4*

Год	Автор	Открытие или вывод
1957	Заморзаев, Соколов	G^2_{30},G^2_{30}
1960	Заморзаев, Палистрант	G^2_3, G^3_2, G^4_2
1961	Заморзаев, Палистрант	G^3_2 (мозаики)
1962	Шувалов	Предельные группы G^2_{30}
	Галярский, Заморзаев, Палистрант	G^2_3

1963	Палистрант, Заморзаев	G^2_{32}
	Палистрант	G^2_{32}, G^3_{32},G^4_{32},G^5_{32}
1964	Палистрант, Заморзаев	G_1, G^2_{21}, G^2_{321}, G^3_{21}, G^3_{321}, G^4_{321}
	Заморзаев, Палистрант	G^2_3, G^6_3
	Палистрант	G^2_{31}, G^2_{3210}, G^2_{20}, G^2_{320}, G^3_{3210}, G^3_{320}
1965	Галярский, Заморзаев	G^2_{31}, G^3_{31}, G^4_{31}
	Неронова	G^2_{20}, G^2_{30}, G^2_0 Многоэтажная расширенная «единая схема».
1976	Заморзаев	Выход монографии «Теория простой и кратной антисимметрии».

** Ссылки на первоисточники содержатся в монографии А. М. Заморзаева (см. с. 70).*

Каждой точке фигуры (конечной или бесконечной) приписываются знаки плюс или минус в / различных (обычнр физических) смыслах (/ может быть любым натуральные числом)».[* Заморзаев Л. М. Теория.,., с. 76.]

Можно сказать, что развитие кратной антисимметрии (или „антисимметрии различного рода) было форсированным. Фактически с 1957 г., когда появилась первая работа А. М. Заморзаева и Е. И. Соколова, до 1965 г. основные результаты были получены в основном А, М. Заморзаевьш, А. Ф. Палистрантом и Э. И. Галярским (табл, 4). Для многократной антисимметрии даже составление каталогов под силу только хорошей ЭВМ. Например, число групп шестикратной антисимметрии на шубниковских группах составляет 419 973 120, чего, видимо, хватит для любых кристаллографических приложений. В порядке соотношения этих результатов с творческим наследием. А. В. Шубникова отметим, что во многих случаях процесс вывода шел по методу Шубникова, а при получении предельных групп двойной антисимметрии Л. А. Шувалов активно применил шубликовскую систематику по типам и рядам. В целом теория кратной антисимметрии разработала. Наиболее «слабые места» на сегодняшний день частично освещены в работе А. М. Заморзаева по теории простой и кратной антисимметрии. Следует ожидать дальнейших нетривиальных

приложений теории кратной антисимметрии, расширения и обобщения ее принципов.

Очерк развития теории симметрии второй половины XIX в. был бы не полон, если не упомянуть работы, связанные с формированием и выводом понятий и групп цветной симметрии. Непосредственно в этом процессе А. В. Шубников не участвовал, однако истоки цветной симметрии (и тем более цветной антисимметрии) лежат в его творческом наследии. Трактовка антисимметрии как двухцветной симметрии — прямой к тому путь. В 1956 г. вышли в свет первые работы Н. В. Белова и Т. Н. Тарховой, а в 1958 г. во втором издании брошюры А. В. Шубникова [232] уже помещена вклейка с группами цветной, симметрии.

Вот как «началал цветной симметрии» описывают А. М. Заморзаев с соавторами в, своей фундаментальной работе (табл. 5): «Но антисимметрию можно трактовать и как „двухфазную" симметрию„ оттеняя в ней не противоположность взаимозаменяющихся качеств, а лишь различие и чередование в рамках общности природы, подобно двум фазам одного явления. Тогда естественен переход к „Р-фазной" симметрии, состоящей в приписывании точкам уже не двух, а любого числа однородных качеств, обозначаемых индексами 1„ 2, ... р и переходящих друг в друга по какому-то закону (например, чередуясь циклически) при изометрических преобразованиях' фигуры. Тцкие соображения приведи Н. В. Белова в 1954—1955 годах от двухцветного толкования антисимметрии к идее многоцветной симметрии».[* Заморзаев А. М., Галярский Э. И., Палистрант А. Ф. Цветная симметрия, ее обобщения и приложения. Кишинев: Штиинца, 1978, с. 20.]

Таблица 5*

Год	Автор	Открытие или вывод
1956	Белов, Тархова	G_2^p (цветные мозаики)
1957	Белов, Белова	G_2^p
1959	Виттке, Гарридо	G_{30} (цветные полиэдры)
	Инденбом	Связь теории цветной симметрии с теорией представлений групп
	Ниггли	То же независимо и G_{30}^p
1960	Инденбом, Белов, Неронова	G_{30}^p (цветные кристаллографические классы)
	Ниггли, Вондрачек	Простая криптосимметрия
1961	Вондрачек, Ниггли	Простая и кратная криптосимметрия
	Поли	G^{p1} (цветная антисимметрия)
	Неронова, Белов	$G_2^{1,p}$ (цветная антисимметрия)
	Ван дер Варден, Буркхардт	Общая методология исследования цветных групп
1962	Виттке	Криптосимметрия и G_{30}^p
1961—1962	Биненсток, Эвальд	Комплексная симметрия
1963	Вайнштейн, Звягин	Комплексная симметрия
1966—1968	Палистрант	G_{320}^p, $G_{20}^{1,p}$, $G_{20}^{2,p}$, $G_{20}^{3,p}$, $G_{320}^{1,p}$, $G_{320}^{2,p}$, $G_2^{2,p}$, $G_{32}^{1,p}$, $G_{32}^{2,p}$, $G_{32}^{3,p}$
1967	Заморзаев	G_{30}^p, $G_{30}^{1,p}$, $G_{30}^{2,p}$, включая некристаллографические
	Палистрант	G_{32}^p
1969	Заморзаев	G_3^3, G_3^4, G_3^6
	Галярский	G_{31}^3, G_{31}^4, G_{31}^5
1970	Дубов	Патологическая цветная симметрия
1971	Палистрант, Заморзаев	Дополнение списков G_2^p, $G_2^{1,p}$, G_{32}^p
1972	Копцик, Кужукеев	G_3^3, G_3^4, G_3^6
	Палистрант	$G_{21}^{1,p}$, $G_{21}^{2,p}$, $G_{321}^{1,p}$, $G_{321}^{2,p}$
1974	Копцик, Коцев	W-симметрия
1978	Заморзаев, Галярский, Палистрант	Монография «Цветная симметрия, ее обобщение и приложения».
1980	Дубов	Язык симметрии

** Ссылки на первоисточники содержатся в монографии А. М. Заморзаева, Э. И. Галярского и А. Ф. Палистранта (см. с. 79).*

В своей работе 1956 г. по цветной симметрии Н. В. Белов и Т. Н. Тархова группы $G^P{}_2$ (цветные мозаики) выводят методом «обобщенных проекций» пространственных групп G_3.

Дальнейшее развитие теории цветной симметрии связано скорее с теорией групп, чем с «классической» кристаллографией. В 1959 г. в двух появившихся независимо друг от друга работах А. Ниггли и В. Л. Инденбома отмечена связь групп антисимметрии и цветной симметрии с одномерными представлениями обычных групп симметрии. В своей статье В. Л. Инденбом пишет: «В

качестве примера, используя цветные таблицы неприводимых представлений точечных групп, можно выписать все магнитные кристаллографические классы...

Можно рассмотреть группы, индуцируемые не только одномерными действительными, но и другими представлениями. Одномерные комплексные представления, в частности, индуцируют «цветные» группы симметрии..., отвечающие таким структурам, в которых объекты разного сорта (разного «цвета») занимает аналогичные места».[* Инденбом В. Л. Связь групп антисимметрии и цветной симметрии с одномерными представлениями обычных групп симметрии. Изоморфизм шубниковских и федоровских групп. — Кристаллография, 1959, т. 4, вып. 4, с. 620.]

В 1960 г. в совместной работе В. Л. Инденбома, Н. В. Белова и Н. Н. Нероновой о точечных группах цветной симметрии эта идея использована для получения 18 точечных цветных классов (практически одновременно эти же 18 групп были найдены и А. Ниггли). Авторы пишут: «Если данная точечная группа обладает одномерным представлением, это значит, что можно найти такую функцию кристаллографического направления, которая под воздействием операции симметрии g_i лишь умножается на некоторые множители χ_{Cg}, называемые характерами представления. Для действительных одномерных представлений $\chi = \pm 1$, для комплексных одномерных представлений характеры даются различными степенями комплексных чисел i, $\omega = \exp(2\pi i/3)$ и $\varepsilon = \exp(2\pi i/6) = -\omega^2$ В комплексной плоскости умножение на i, ω и ε отвечает, соответственно, повороту на 90, 120 и 60°, что может быть интерпретировано как результат воздействия „цветной" оси 4-го, 3-го и 6-го порядков».[* Инденбом В. Л., Белов Н. В., Неронова Я. Я. Точечные группы цветной симметрии (цветные классы). — Кристаллография, 1960, т. 5, вып. 4, с. 497.] Таким образом, цветные группы и группы антисимметрии появляются в единой схеме расширения групп ортогональной симметрии на основе теории представлений групп и групп перестановок.

Годом раньше Виттке и Гарридо опубликовали свой вывод 211 видов раскраски цветных полиэдров, среди которых, по образному выражению предыдущих авторов, затерялись точечные группы цветной симметрии. Кратко прослеживая дальнейшее развитие «беловской цветной симметрии», укажем, что в середине 60-х годов в основном в многочисленных трудах А. Ф. Палистранта систематически развивался прямой способ вывода цветных групп (шубниковским методом замены образующих). Тем же методом, но используя для контроля одномерные

комплексные представления, А. М. Заморзаев осуществил полный вывод пространственных групп р-симметрии.

Наиболее естественным обобщением цветной симметрии является цветная антисимметрия. У ее истоков стоят Г. С. Поли, Н. Н. Неронова и Н. В. Белов. У Г. С. Поли цветная антисимметрия возникла как расширение принципа обобщенных проекций Белова —Тарховой на группы с «переворачивающими» элементами симметрии, а у Н. В. Белова и Н. Н. Нероновой — как система с независимым применением знаков и цвета.

В течение 1960—1980 гг. теория обобщенной симметрии и классификация ее типов интенсивно развивалась исследователями Кишиневской школы (А. М. Заморзаевым, А. Ф. Палистрантом, И. А. Балтагом, В. П. Макаровым, Э. И. Галярским, П. А. Заболотным, А. П. Лунгу, В. П. Баритом, И. С. Гуцулом), В. А. Копциком и его учениками (Ж. Н. М. Кужукеевым, И. Н. Коцевым) и многими другими.

В последнее время П. Л. Дубовым сформулировано понятие языка симметрии, основанное на принципах построения формальных алгоритмических языков программирования. Язык симметрии, в котором роль слов играют отдельные виды групп ортогональной симметрии или любого их расширения, а предложениями являются скопления групп, охватывает любые типы симметрии и перебрасывает «мостки» между теорией симметрии и кибернетикой.

Симметрия подобия

Наборы геометрических преобразований, положенные в основу ортогональной симметрии, не исчерпывают всего множества возможных типов симметрии. История математики показывает, что уже в трудах Архимеда и Аполлония появились геометрические преобразования сжатия «к прямой» (растяжение «от прямой»). Современное «родство» и сжатие или растяжение от точки (гомотетия) лежат в основе аффинной геометрии. Отметим попутно, что, помимо преобразования гомотетии, Аполлоний вводит и преобразование инверсии относительно окружности (одно из конформных преобразований, по современной терминологии). Александрийский математик Папп (III в. н. э.) в «Математическом собрании» описывает гомотетию и инверсию и их комбинации с движениями плоскости, в том числе переносом и поворотом. Симметрия подобия, наряду с гомологией, является частным случаем аффинных преобразований. Проследим генезис

этих преобразований вплоть до их окончательного оформления в трудах по геометрии, с одной стороны, и формулировки самого понятия «симметрия подобия» в работе А. В. Шубникова [247].

Эквиаффинные преобразования, сохраняющие площади (объемы) фигур, впервые ввел в науку Сабита Ибн Корра в «Книге о сечениях цилиндра в его поверхности», что, видимо, является начальной точкой отсчета для гомологии, намного позднее развитой в ее «симметрийной» интерпретации в трудах В. И. Михеева и П. А. Заболотного, хота некоторые соображения по этому поводу содержатся в «Курсе кристаллографии» Е. С. Федорова (видимая симметрия), итальянского ученого Виолы (гармония) и А. В. Шубникова [158].

Наибольший вклад в современную тематику внес., разумеется, Л. Эйлер, хотя аффинные преобразования общего вида у европейских математиков впервые появляются у А. К. Кле,ро. Во втором томе «Введения в анализ бесконечных» Л. Эйлер фактически дает набор движений на плоскости, вводит понятие оси симметрии, описывает перенос, поворот, отражение от прямой и скользящее отражение. В другой работе Эйлером введено понятие косого отражения, косого растяжения. Им же доказана важнейшая теорема симметрии подобия — преобразование подобия всегда обладает неподвижной точкой.

К началу XX в. аффинная геометрия [* Термин «аффинная симметрия» впервые использован в статье: Заморзаев А. М. Развитие новых идей в федоровском учении о симметрии за последние десятилетия. — В кн.: Идеи Е. С. Федорова в современной кристаллографии и минералогии. Л.: Наука, 1974, с. 42—64.] полностью сформировалась, однако термин «симметрия подобия» появился только в работе А. В. Шубникова [247]. С другой стороны, в неявной форме симметрией подобия, распространенной в растительном и животном мире, давно и детально занимались ботаники. Как отмечает А. В. Шубников [343], со времен Ш. Бонне (XVIII в.) понятие филлотаксиса вошло в употребление в естествознании, хотя под несколько иным углом зрения этим занимались еще Леонардо да Винчи и Лука Паччоли, исследуя золотое сечение. Одна из наиболее интересных работ в этой области принадлежит братьям Браве, один из которых был ботаником, а второй — кристаллографом. Поскольку законы «геометрического мышления» едины, в этой работе соавторы, видимо, благодаря О. Браве, наиболее близко подошли к тому, что можно было бы определить как симметрию подобия, но не назвали ее. Довольно большое число работ конца XIX—начала XX в. посвящено близкой тематике: аддитивным рядам, биологической «симметрии», декоративному искусству и т. п.,

однако ни в одной из них явственно не прозвучал единственно правильный акцент в определениях преобразований, позволяющий говорить о «симметрии подобия».

Генетически работа А. В. Шубникова [247] связана с небольшой книжкой Г. В. Вульфа «Симметрия и ее проявление в природе», в которой без определения симметрии подобия большое внимание уделено симметрии растений. О том, как работа А. В. Шубникова была встречена научной общественностью, И. И. Шафрановский пишет: «В августе 1960 г. в Кембридже проходил 5-й Международный конгресс кристаллографов, участником которого был А. В. Шубников. Журнал „Кристаллография" посвятил конгрессу специальный выпуск, открывающийся статьей А. В. Шубникова „Симметрия подобия". Алексей Васильевич придавал большое' значение этой долго им вынашиваемой и тщательно оформленной работе. Его слегка опечалило то, что высказанная им идея о совершенно новом аспекте симметрии, имеющем повсеместное распространение в природе, не встретила тогда широкого отклика и достойной оценки со стороны участников конгресса» [Л. 57, с. 394]. Следует сказать, что эту идею сразу же взяли на вооружение кишиневские геометры, фактически завершившие всю теорию симметрии подобия.

Свою теорию симметрии подобия А. В. Шубников основывает на утверждении, что в рамках симметрии подобия равными считаются не только действительно равные фигуры, но и все подобные им. Им вводятся все основные виды операций, осуществляемых в рамках симметрии подобия.

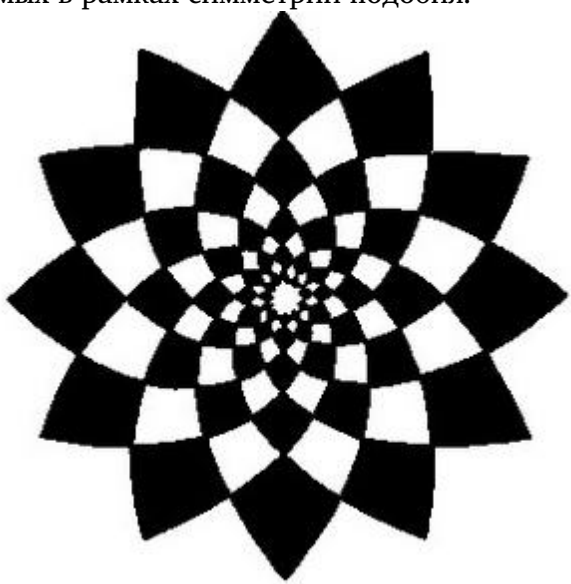


Рис. 2. Фигура, имеющая симметрию подобия.

Статья А. В. Шубникова послужила основой для формирования целого раздела теории симметрии, базирующегося на объединении ортогональных и подобных преобразований. При отображении подобия параллельность и углы сохраняются неизменными. Как и множество ортогональных, «подобные» преобразования пространства (и плоскости) образуют группу, являющуюся подгруппой группы аффинных преобразований пространства (рис. 2).

Поскольку весь этот раздел теории симметрии связан с именем А. В. Шубникова, кратко рассмотрим пути его дальнейшего развития. Теория симметрии подобия и вывод групп развивались исследователями Кишиневской школы с 1963 по 1970 г. На основе связи групп симметрии подобия с группами направленных стержней, впевые отмеченной в работе Э. И. Галярского и А. М. Заморзаева, выведены двумерные группы симметрии и антисимметрии подобия, расширенные впоследствии до цветной симметрии и различного рода антисимметрии подобия. В 1967 г. вывод двумерных групп был расширен до вывода конических (с особенной плоскостью), а затем трехмерных групп, базирующихся на аналогии между группами цветной симметрии и группами симметрии подобия.

На примере теории симметрии подобия выпукло обрисовывается вклад А. В. Шубникова в теорию симметрии. В процессе развития теории симметрии подобия идеи А. В. Шубникова пересекались с его же идеями по антисимметрии, теории предельных и некристаллографических групп.

В работе А. В. Шубникова [158] намечено развитие теории ортогональной симметрии и в направлении гомологии, т. е. эквиаффинных преобразований. В самом деле, при анализе пар многогранников Л. Пастера автор вводит «в качестве особого симметричного преобразования косое отражение в плоскости и в качестве нового элемента симметрии косую плоскость симметрии» [158, с. 5]. Ревизуя само понятие равенства, А. В. Шубников определяет понятие «косого поворота... вокруг косой оси...» [158, с. 6]. Иными словами, автор вводит в рассмотрение принципы, лежащие в основе гомологии. По словам В. И. Михеева: «Важно заметить, что А. В. Шубников указывает на тесную связь косых элементов симметрии с однородными деформациями Е. С. Федорова...

Значение указанных работ А. В. Шубникова очень велико. Главное их достоинство в том, что они намечают несколько различных путей дальнейшего развития учения о симметрии. Один из этих путей совпадает с тем, который был принят Е. С.

Федоровым и продолжен К. Виола...

Косые оси и плоскости симметрии были найдены А. В. Шубниковым попутно при решении проблемы о перспективах развития учения о симметрии, и сами они не были предметом специального исследования. Вероятно, этим и объясняется, что в работах не рассмотрены вопросы сложения косых плоскостей и осей симметрии, не упоминается о косых эллиптических осях симметрии или эллиптических осях гомологии».[* Михеев В. И. Гомология кристаллов. Л.: Гостоптехиздат, 1961, с. 32.]

Отметим, что в этой же работе А. В. Шубникова [158] упоминается о новом развитии понятия симметричности, которое в современной терминологии принято называть кратной антисимметрией. Иначе невозможно интерпретировать следующее высказывание автора: «Что касается... принципа сочетания альтернатив — не обязательно только двух, но и многих альтернатив, то он наверняка найдет себе применение для описания самых разнообразных множеств (многообразий) природных материальных образований» [158, с. 10].

На основе многогранников Л. Пастера в этой же работе фактически впервые возникает понятие «простой и кратной антисимметрии стереоэдров».

В заключение этого раздела приведем слова А. В. Шубникова: «Могут существовать самые разнообразные трактовки симметрии. Целесообразность той или иной из них определяется практикой, назначением для истолкования явлений природы, то есть относительных движений в широком философском смысле. Какой бы трактовки симметрии мы бы ни придерживались, одно остается обязательным: нельзя рассматривать симметрию, без,- ее антипода — диссимметрии.. В симметрии отражается та сторона явлений, которая соответствует покою, а в диссимметрии — та их сторона, которая отвечает движению. Нет максимальной и минимальной симметрии, как нет абсолютного покоя и абсолютного движения.

Единое понятие симметрии—диссимметрии неисчерпаемо» [151, с. 163].

С 1953 по 1956 г., А. В. Шубников неоднократно возвращался к анализу проблем, связанных с гомологией, уточняя и детализируя свою точку зрения на этот вопрос. Он утверждал: «В основе учения о симметрии при любом его аспекте лежит представление о равенстве частей фигуры и об одинаковости их взаимного расположения. В природных индивидах — растениях, животных, кристаллах — роль равных и одинаково расположенных частей фигуры нередко играют части одинаковой формы, но разной величины, то есть части подобные. При

кристаллизации они образуются всегда в тех случаях, когда процесс кристаллизации просходит ритмически (кольца Лизеганга, спирали роста, ритмические сферолиты). Развитие учения о симметрии подобия должно стать, по нашему мнению, одной из важных задач современной теоретической кристаллографии» [244, с. 7].

Геометрические работы

Прежде чем рассматривать работы А. В. Шубникова в области геометрии, приведем высказывания Б. Н. Делоне, затрагивающие интересующий нас вопрос: «...я узнал, что в своей работе еще 1916 г. „К вопросу о строении кристаллов" Алексей Васильевич показал, что есть 11, и только 11, комбинаторно разных разбиений плоскости на то, что он называл в этой работе „планатомы". Это разбиение дуально с разбиением на „планигоны". В 1931 году Ф. Лавэс заново открыл этот факт, то есть число И (для планигонов), и только в сноске к своей работе отмечает, что он узнал, что этот геометрический факт был уже 15 лет перед тем открыт А. В. Шубниковым.

Существование такой работы А. В. Шубникова меня тогда озадачило. Да ведь он не только блестящий экспериментатор и исследователь природы, а и математик» [Л. 57, с. 383].

Круг проблем, связанных с заполнением плоскости и пространства, очерчен в двух статьях А. В. Шубникова [15, 25].

Этот вопрос имеет давнюю историю. В 1611 г. гениальный Кеплер в небольшом трактате «О шестиугольном снеге» задался вопросом о первопричине образования звездчатой шестиугольной формы снежных кристалликов. Заимствовав у пчел форму ромбододекаэдра, И. Кеплер писал: «Итак, мы имеем дело с известной геометрической фигурой, наиболее правильной, заполняющей пространство так же, как, например, шестиугольник, четырехугольник, треугольник заполняют плоскости».[* Цит. по кн.: Шафрановский И. И. Кристаллографические представления И. Кеплера и его трактат «О шестиугольном снеге». М.: Наука, 1971, с. 4.] Разбор различных возможных шаровых упаковок привел его к плотнейшей шаровой кубической упаковке (табл. 6).

Другая плотнейшая, а именно гексагональная, упаковка открыта В. Барлоу лишь в конце XIX в. Исходя из шаровых укладок. Кеплер выводит три идеальных параллелоэдра: ромбододекаэдр, гексагональную призму с пинакоидом и куб.

Кубооктаэдр, известный еще строителям Софийского собора в Константинополе и положенный в основу при проектировании центрального купола, был введен в кристаллографию Е. С. Федоровым, а И. Кеплеру оставался неизвестным.

Интересные соображения, связанные с упаковкой идентичных частиц, высказывал И. Ньютон в «Оптике», М. В. Ломоносов в работе «О рождении и природе селитры». Для полноты картины в список приверженцев решетчатого строения кристаллов XVII—XVIII вв. следует добавить имена Вестфельда и Бергмана, полагавших, что кристаллы кальцита построены из одинаковых крошечных ромбоэдров, примыкающих друг к другу своими гранями и заполняющих пространство без промежутков.

Таким образом, идея решетчатого строения кристаллов буквально «висела в воздухе» перед тем, как французским кристаллографом Р. Ж. Гаюи была создана первая по времени теория структуры кристаллов. Чисто опытным путем Гаюи нашел пять типов примитивных спайных «кирпичиков», из которых только параллелепипед, гексагональная призма и ромбододекаэдр заполняют пространство. Но в 1824 г. А. Зеебер пришел к заключению о невозможности сказать что-либо достоверное об истинной форме гипотетических элементарных «кирпичиков», и это натолкнуло его на мысль заменить их центром тяжести. Этот подход привел Зеебера к системе точек, которую он и назвал впервые «пространственной решеткой». С этого момента развитие теории заполнения пространства происходит по двум направлениям — кристаллографическому и математическому. Оба они пересекаются в трудах Б. Н. Делоне.[* Делоне Б. Н., Галиулин Р. В., Штогрин М. И. Теория Браве и ее обобщение на я-мерные решетки. — В кн.: Браве О. Избранные научные труды. Л.: Наука, 1974, с. 309—413; Современная теория правильных разбиений эвклидова пространства. — В кн.: Федоров Е. С. Правильное деление плоскости и пространства. Л.: Наука, 1979, с. 235—260.]

Таблица 6*

Год	Автор	Предмет открытия
1611	Кеплер	Первые идеи о геометрии шаровых упаковок
1721	Ньютон	Идеи кристаллической

		решетки
1824—1831	Зеебер, Гаусс	Определение понятия решетки и ее свойств в теории чисел
1835	Франкенгейм	15 решеток
1848	Дирихле	Понятие «областей Дирихле»
1849	Браве	14 решеток
1885	Федоров	«Начала учения о фигурах». Параллелоэдры
1897	Барлоу	Плотнейшая гексагональная упаковка
1899	Федоров	Правильное деление плоскости и пространства
1908	Вороной	Алгоритм вывода всех примитивных параллелоэдров я-мерного пространства
1916	Шубников	11 комбинаторно-различных разбиений плоскости
1924	Шубников	Идеи разбиения многомерных пространств
1930	Лавэс	11 комбинаторно-различных разбиений плоскости
1934	Коксетер	Вывод групп с отражениями для я-мерных пространств
1934	Делоне, Александров	Теория кристаллического «состояния» с точки зрения теории решеток, параллелоэдров
1939	Шубников	Пространственные калейдоскопы (7 коксетеровских групп)
1947	Белов	Полная систематика

		плотнейших шаровых упаковок
1959	Делоне	Завершение теории планигонов
1961	Делоне, Сандакова	Доказательство основной теоремы стереоэдров и алгоритм построения стереоэдров Дирихле
1965	Заморзаев	Контрпример к основной теореме о стереоэдрах
1974—1979	Делоне,	Теория Браве и ее обобщение на п-мерные решетки
	Галиулин,	Современная теория правильных разбиений евклидова пространства
	Штогрин	

** Ссылки на первоисточники содержатся в работах Б. Н. Делоне с соавторами; Делоне Б. Н. и др. Теория Браве... .*

Рассмотрим вначале кристаллографическое направление. Следующим шагом в развитии теории решетчатого строения кристаллических тел был вывод в 1835 г. М. Л. Франкенгеймом 15 решетчатых расположений. Эта проблема была окончательно решена О. Браве, который свел их к 14 решеткам, названным впоследствии его именем.

Следующий этап развития кристаллографического направления — это труды Е. С. Федорова. В 1885 г. увидели свет его «Начала учения о фигурах», в которых впервые устанавливаются законы заполнения пространства параллелоэдрами, дается их полный список с учетом деформации, определяется понятие стереоэдра. Последние он связывает с правильными системами точек. Проблема правильного деления плоскости и пространства окончательно решена в монографии Е. С. Федорова, кристаллографическая направленность которой видна из следующего высказывания автора: «Теория кристаллического строения, помимо всего прочего, выдвинула следующую чисто геометрическую проблему: закономерно разделить бесконечное воображаемое пространство на конгруэнтные и соответственно симметрично-равные конечные пространственные фигуры».[* Федоров Е. С. Правильное деление

плоскости и пространства. Л.: Наука, 1979, с. 7.]

Следующей «кристаллографической» статьей можно считать публикацию А. В. Шубникова [15], который писал по поводу этой статьи: «... Примерно в 1915 году мне пришла в голову мысль: нельзя ли вывести такие многогранники, которые вместо одинаковых граней имели бы одинаковые ребра. Эту задачу мне удалось решить... Когда работа была закончена, я не без страха решил показать ее своему учителю. Ю. В. Вульф внимательно просмотрел мои чертежи, затем молча подошел к шкафу и вынул оттуда „Начала учения о фигурах" Е. С. Федорова. Открыв последние страницы этой книги, Вульф показал мне в ней те самые чертежи, которые были сделаны мною. Выведенные мною многогранники у Е. С. Федорова были названы изогонами. Кроме них, в книге были изображены все обобщенные простые формы (как кристаллографические, так и некристаллографические), названные Федоровым изоэдрами... Занимаясь изучением книги Е. С. Федорова... где, в частности, решается вопрос о заполнении трехмерного пространства многогранниками без промежутков, я обнаружил, что Е. С. Федоров не включил в эту книгу вопрос о заполнении плоскости многоугольниками без промежутков. Эту задачу я попробовал решить самостоятельно, и мне это удалось. В результате появилась моя статья с крайне неудачным названием „К вопросу о строении кристаллов"...» [342, с. 9].

Из этой статьи А. В. Шубникова следует так называемая теорема Шубникова—Лавэса, от которой и происходит деление плоскости на 11 топологически различных разбиений, на стандартные планигоны.

В следующей статье этого цикла А. В. Шубников с помощью весьма наглядных представлений разбирает проблемы заполнения пространства кубом, ромбододекаэдром и комбинацией куба и октаэдра — кубооктаэдром. В частности, он делает вывод, что «для элементов выпуклого четырехмерного многогранника мы имеем то же соотношение, что и для трехмерного пространства, сплошь заполненного многогранниками» [25, с. 197].

В 1939 г., когда общая теория параллелоэдров трехмерного пространства была уже завершена, появляется статья А. В. Шубникова [122], начинающаяся следующим образом: «В основу вывода 32 точечных групп симметрии кристаллов Г. Вульф кладет калейдоскопическое повторение сферических треугольников на шаре. Для вывода пространственных групп, очевидно, можно было бы исходить из калейдоскопического повторения многогранников в пространстве...

Пространственным калейдоскопом... мы называем такой

многогранник, из которого путем последовательного зеркального отражения в плоскостях его граней получаются новые многогранники, выполняющие пространство без промежутков» [122, с. 3].

Таким образом, А. В. Шубниковым получено семь (и только семь) пространственных калейдоскопов, заполняющих пространство. Комментарий Б. Н. Делоне к этой работе таков: «Работа А. В. Шубникова 1939 года „Пространственные калейдоскопы" тоже математическая... Этот вывод трехмерных коксетеровских групп... В силу одной теории Фробениуса из этих групп можно получить все федоровские группы, но этот их вывод, по-видимому, наткнется на очень уж большой перебор» [Л. 57, с. 383].

Современная теория правильных разбиений эвклидова пространства содержится в двух работах Б. Н. Делоне и его соавторов, причем в первой из них «подробно рассмотрены те стороны арифметического метода, которые непосредственно связаны с работами Браве».[* Делоне Б. Н. и др. Теория Браве..., с. 309.] Коротко рассмотрим математический аспект развития этой теории. В 1831 г. К. Ф. Гаусс, реферируя работу Зеебера, определил и расширил понятие решетки. Ученик Гаусса П. Л. Дирихле существенно продвинулся в изучении решетчатых систем, определив понятие областей действия точек решетки (параллелоэдры Дирихле). Его результаты были обобщены Г. Ф. Вороным.

Конкретные модификации теории разбиение пространства с отказом от выпуклости и плоскогранности стереоэдров нашли отражение в работе аспиранта Шубникова Н. М. Башкирова, построившего однозначно задающие федоровскую группу стереоны (фундаментальные области- группы).

В заключение отметим, что упоминавшиеся теории А. В. Шубников использовал эпизодически. Теория упаковок и параллелоэдров была им конструктивно использована практически только в одной статье [202].

К «геометрическим» относятся следующие работы А. В. Шубникова [98, 99, 226, 295]. Первая из них восходит к «задаче Бюффона» о бросании иглы (теория вероятностей), решенной Л. Эйлером. Однако и в этот вопрос А. В. Шубников внес отчетливо кристаллографический оттенок, что с позиций теории симметрии привело к нетривиальному результату. К другому направлению принадлежит его статья о случайных сечениях ромбододекаэдра [99]. Работа А. В. Шубникова [226] может служить иллюстрацией к им же самим введенным предельным группам точечной симметрии и соответствующим простым формам. Статья [295]

задевает наибольшее число нерешенных проблем, поскольку касается комбинаторно-топологических структур аморфных тел. Дело в том, что в химии эти структуры уже известны (катенаны, узлы), однако пока не существует даже приблизительной систематики кольцевых структур в рамках предложенной А. В. Шубниковым модели.

Резюмируя все сказанное выше, отметим следующее: если рассмотреть весь круг вопросов теории симметрии, то вне среды интересов А. В. Шубникова, пожалуй, оставались только криволинейная симметрия по Д. В. Наливкину и те вопросы теории симметрии, которые касались и касаются «неевклидовой» симметрии.

В заключении приведем слова Б. К. Вайнштейна: «Широта научных интересов А. В. Шубникова была поистине огромной, а его подход к решению задач удивительно разнообразен. Глубокое абстрактное мышление ученого- классика, натурфилософа в нем сочеталось с изобретательностью и практичностью инженера, фантазия теоретика — с искусством экспериментатора» [Л, 57, с. 8].

Глава 10
Физическая кристаллография в работах А. В. Шубникова

Поистине многогранна научная и педагогическая деятельность А. В. Шубникова. Такие направления его исследований, как симметрия, рост кристаллов, физические исследования их свойств, следует считать основными. Все эти разделы кристаллографии были ему близки, и в каждый из них Алексей Васильевич внес существенный вклад. Вместе с тем А. В. Шубников прежде всего был кристаллофизиком. Эта часть его творчества доминировала в его исследованиях.

Определив кристаллографию как самостоятельную науку, имеющую свой предмет (кристаллы) и свой метод (метод симметрии), А. В. Шубников во всех своих и организуемых им исследованиях указывал на необходимость сосредоточивать внимание на кристаллографии. Это особенно подчеркивалось его стремлением к тому, чтобы кристаллографы (изучающие свойства кристаллов) занимались прежде всего физической кристаллографией, оптической кристаллографией, а не кристаллофизикой, не кристаллооптикой и пр. В этом он видел самостоятельность кристаллографии как науки.

В работах по физической кристаллографии Алексей Васильевич всегда стремился выделять то, что отличает кристалл от аморфной среды. Он считал необходимым видеть в кристаллическом твердом теле прежде всего то, что нельзя увидеть в среде «бесструктурной», изотропной. Поэтому в исследованиях кристаллов А. В. Шубников проявил себя как крупный и оригинальный ученый, труды которого не могут затеряться в огромном потоке работ по кристаллофизике и физике твердого тела.

Начало его первых работ относится к тому времена, когда изучение строения кристаллов только начиналось, а проблема строение—свойство была сформулирована много десятилетий спустя, когда его научные интересы и взгляды уже полностью определились. Это, конечно, не означает, что «классичность» его работ в какой-либо мере отделяет их от практической значимости. Наоборот, большинство работ А. В. Шубникова тесно связаны с практикой, с промышленностью.

В работах А. В. Шубникова по физической кристаллографии можно выделить исследования оптических, электрических и

механических свойств кристаллов. Именно по этому признаку в Институте кристаллографии с самого начала были организованы три лаборатории.

Оптическая кристаллография

Оптические работы А. В. Шубникова, как и все в его исследованиях, носили конкретный характер и были тесно связаны с практикой. В 20-х годах А. В. Шубников организовал в Ленинграде для нужд Красной Армии кварцевую лабораторию, изготовлявшую пьезокварцевые пластинки с фиксированной частотой колебаний. Работа началась с самого, простого: нужно было уметь ориентировать бесформенные куски кварца, находить в них направления оптических и электрических осей. Выпущенное в то время коллективное «Руководство» под редакцией А. В. Шубникова [58] позднее было переработано им и издано в виде отдельной книги [133]. На ее материале, содержавшем полное описание свойств кварца (включая оптические), изученных к тому времени, фактически базировалось развитие отечественной пьезокварцевой промышленности. В этой книге, а также в работах [127, 128] дается описание простых и надежных методов определения направления оптических и электрических осей с точностью до 10'. Такая точность по тем временам была и достаточной и наиболее высокой. Алексей Васильевич любил сам готовить оптические препараты: шлифы, кварцевые клинья, кюветы с расплавами для наблюдения кристаллизации под поляризационным микроскопом.

Тонкие оптические измерения и исследования былг подстать его натуре, в которой всегда чувствовались аккуратность, подтянутость, пунктуальность, граничащая с педантичностью. Те, кто видел Алексея Васильевича за гониометром, конометром или поляризационным микроскопом, имели возможность присутствовать при «священнодействии» экспериментатора, умевшего играть све том и красками.

Кристаллы, выращенные А. В. Шубниковым или его коллегами, требовали прежде всего определений симметч рии (гониометрии), показателей преломления, ориентация различных осей, проверки на такие свойства, как двупреломление, оптическую активность, прозрачность. Алек-' сей Васильевич чувствовал необходимость создания такого руководства, которое позволило бы широкому кругу специалистов понять оптику анизотропных сред (излагавшуюся, как правило, очень сложно),

освоить непростые кристаллооптические методики. Подготовка такого руководства требовала много сил и времени. Результаты этой работы были представлены в монографии А. В. Шубникова «Оптическая кристаллография» [168] (не кристаллооптика, а оптическая кристаллография!). В 1958 г. Алексей Васильевич опубликовал новую работу [231], в значительной мере представляющую переработку «Оптической кристаллографии».

Научное кредо А. В. Шубникова как кристаллографа можно проиллюстрировать им же написанными строками из параграфа «Предмет оптической кристаллографии», открывающего вторую книгу: «Оптическая кристаллография изучает оптические свойства кристаллов и, являясь частью физической кристаллографии, занимается классификацией кристаллов по их оптическим свойствам, а также исследованием связи между оптическими и другими свойствами кристаллов, в частности, их симметрией.

Оптическая кристаллография имеет, естественно, многие общие черты с кристаллооптикой, которая является частью физики, и с методикой измерения оптических констант кристаллов. Этот последний предмет, которому посвящено большое количество прекрасных руководств, в нашей книге играет второстепенную роль» [231, с. 3].

Приведенные монографии являются примером глубокого и оригинального проникновения А. В. Шубниковым в оптику анизотропных сред, торжества его кристаллографической концепции в оптике. С завидной простотой Алексей Васильевич демонстрирует это, начиная от рассмотрения модели, а также симметрии светового луча и кончая сложными построениями, иллюстрирующими двупреломления, интерференцию, вращение плоскости поляризации и ряд-других явлений. Обе книги написаны с-<единых позиций и предельно ясно. Последнее замечание особенно важно: Алексей Васильевич ничего не писал такого, о чем он не имел совершенно четкого, «геометрического», представления. Его книги — не просто «перевод» кристаллооптики на «кристаллографический язык». В них много нового — симметрия оптических поверхностей и явлений, построение новых поверхностей (например, гирационных), углубление представления о лучевых и нормальных показателях преломления, трактовка конической рефракции.

К работам по оптике примыкают исследования А. В. Шубникова по растровой оптике. Он экспериментально демонстрировал используемые в указанных выше монографиях модели групповых волн. В Институте кристаллографии в его кабинете всегда можно было видеть затейливые узоры,

образуемые комбинацией растров. «Растровые игрушки» легли в основу предсказанных им возможностей повышения разрешающих способностей микроскопов, вплоть до наблюдения отдельных молекул.

Кристаллография электрических свойств анизотропных сред

За редким исключением А. В. Шубников исследовал прозрачные кристаллы диэлектриков. Отсюда и исследования по оптике и электрическим свойствам кристаллов. Он практически не занимался ни магнитными кристаллами, ни кристаллами металлов.

Под руководством А. В. Шубникова И. С. Желудеву довелось работать 15 лет: с 1951 по 1965 г. Большая часть этого времени относится к тому периоду, когда Алексей Васильевич заведовал лабораторией электрических свойств кристаллов.

Выше уже говорилось о начале работы А. В. Шубникова в Академии наук, о работах по кварцуˆ Обратный пьезоэффект, как явление, лежащее в основе работы пьезоэлемента, — главный его интерес того времени. Пьезоэлектричество, открытое братьями Кюри, тогда еще только начало находить широкое практическое применение. Как и для П. Кюри, для А. В. Шубникова пьезоэлектричество — входная дверь в физическую кристаллографию, в тензорную кристаллофизику. Так, уже в 1928 г. Алексей Васильевич вместе с Б. К. Бруновским публикует работу [43], в которой изложено качественное обнаружение пьезоэффекта в большом числе .кристаллов (в том числе пьезоэлектрических), помещенных в электрическом поле. Основная ее идея — приготовить из любого диэлектрика пьезоэлектрик, «текстурируя» его с помощью электрического поля.

Идея сходства макроупорядоченных систем (текстур) с кристаллами лежит ъ основе нескольких наиболее удачных работ А. В. Шубникова по физической кристаллографии, по пьезоэлектрическим текстурам. В 1940 г. выходит в свет книга А. В. Шубникова, Е. Е. Флинта и Г. Б. Бокия «Основы кристаллографии» [134]. В этой книге Алексеем Васильевичем написан раздел «'Свойства кристаллов как однородной непрерывной среды», отличающийся глубоким проникновением автора в физическую кристаллографию, тензорную кристаллофизику. Важно., что здесь А. В. Шубников переносит известные положения симметрии кристаллов на симметрию

свойств, как симметрию тех или иных поверхностей, описывающих рассматриваемые свойства. Такое обобщение является весьма плодотворным, так как оно дает, в частности, возможность рассмотреть специфику свойств текстурированных сред и в особенности текстур, имеющих симметрию, описываемую группами предельной симметрии .(группами П. Кюри). Анализируя симметрию тензоров ,пьезоэффекта, Алексей Васильевич замечает: «...в ряде случаев пьезоэлектрическая симметрия кристаллов оказывается предельной (группы оо; оо т; оо 2); значит, пьезоэлектрические указательные поверхности могут быть поверхностями вращения. С другой стороны, это означает, что и некристаллические однородные анизотропные среды, например стекло, помещенное в электрическое поле (группа оо т), или закрученное стекло (труппа оо 2), теоретически могут обладать пьезоэлектрическими свойствами» [134, с. 305].

Это по существу и есть предсказание пъезоэффекта в упорядоченных текстурах на основе анализа симметрии их тензоров. Практически в докладе А. В. Шубникова на Отделении физико-математических наук АН СССР «О тензорах пьезоэлектрических модулей некристаллических анизотропных сред» в апреле 1940 г. пьезоэффект в текстурах предсказан «официально». Идея сопоставления симметрия—свойство, успешно использовавшаяся в работах П. Кюри, нашла блестящее продолжение в-, работах А. В. Шубникова по пьезотекстурам. Эти работы привлекли внимание А. В. Шубникова на сравнительно длительное время. Первые успешные опыты по пьезоэффекту в текстурах были проведены перед, самым началом Великой Отечественной войны. В 1946 г. многочисленные результаты работ Алексей Васильевич публикует в монографии «Пьезоэлектрические текстуры» [149j\

Анализируя геометрию пьезоэффекта в текстурах, А, В. Шубников приходит к весьма важному заключению о том,, что отсутствие полярных направлений в среде не лишает ее возможности быть пьезоэлектрической. Рассматривая нетривиальность пьезоэффекта в текстурах с симметрией ∞ 2, он пишет: «Если кристаллы или какая- либо иная анизотропная среда имеют центр симметрии, то это означает, что, в данной среде нет полярных направлений. До сих пор молчаливо предполагалось,что для всех анизотропных сред справедливо также и обратное положение, то есть если среда не имеет полярных направлений, то в ней есть центр симметрии. На примере фигур типа оо 2 мы видим, однако, что это обратное положение, оставаясь справедливым для кристаллов, оказывается неверным для фигур и соответственно для текстур с осями

симметрии бесконечного порядка; в частности, в скрученном цилиндре отсутствует центр симметрии, и тем не* менее все прямые в этой фигуре неполярны. То обстоятельство, что неполярные пьезоэлектрики не были открыты ранее объясняется, по нашему мнению, именно тем, что отсутствие полярных направлений в среде отождествлялось с наличием центра симметрии и что искусственные пьезоэлектрики отождествлялись, с электретами (полярными пьезоэлектриками, пироэлектриками)» [449, с. 21',].

Теоретическая часть книги [149]. содержит рассмотрение многих вопросов проблемы симметрия—свойство, выходящих за рамки пьезоэффекта. В частности, здесь четко анализируется геометрия различных направлений в кристаллах: полярных, особенных полярных, вращательных, крутильных и пр. Позднее И. С. Желудевым этот подход был перенесен на симметрию полярных и аксиальных тензоров второго ранга, а полученные отсюда результаты использованы для «физической интерпретации точечных групп симметрии кристаллов».[* Желудев И. С. Точечные группы симметрии кристаллов и их физическая интерпретация. — Кристаллография, 1957, т. 2, вып. 6, с. 728—733.] Любопытно, однако, что пропагандируя свой подход к симметрии отдельных направлений, Алексей Васильевич с неохотой знакомился со «стрелочной», как он говорил, «интерпретацией кристаллов».

В конце 40-х и начале 50-х годов А. В. Шубников продолжает работы в этом направлении. Вместе с сотрудниками он публикует еще одну монографию по пьезотекстурам [198], которая содержит исследования текстур из сегнетовой соли и титаната бария. Под влиянием работы А. В. Шубникова и с его помощью были начаты и успешно выполнены исследования пьезоэффекта в древесине и горных породах.

В начале 60-х годов учение об антисимметрии А. В. Шубников переносит на текстуры. Тем самым пьезотекстуры вышли на широкую дорогу практики, а в учении о твердом теле заняли целую главу, относящуюся к свойствам анизотропных сред. Линия Кюри—Шубникова по проблеме симметрия—свойство получила дальнейшее развитие в работах по использованию симметрии для описания фазовых переходов в кристаллах. На этом же пути были предсказаны и открыты такие явления, как электрическая поляризация кристаллов при деформации кручения и элекгрогирация (вращение плоскости поляризации света под действием электрического поля).[** Желудев И. С. Симметрия и ее приложения. М.: Атомиздат, 1976. 220 с.]

Без сомнения, пьезоэлектричество — любимое детище А. В.

Шубникова. Еще в Ленинграде, изучая пьезоэффект в кварце, Алексей Васильевич обращает внимание на возможность использования пьезоэффекта двойникованных образцов. Позднее он проводит подробный анализ пьезосвойств двойников кварца различных типов [165]. В 50-х годах он участвует в совершенствовании и развитии современных методик измерения пьезоэффекта в кристаллах и живо следит за развитием работ по пьезоэлектричеству. В 1953 и 1954 гг. он организует два всесоюзных совещания по этой проблеме. Проблема электрических свойств кристаллов одной из первых была предложена для исследования на организованной им кафедре в МГУ. По приглашению Алексея Васильевича на протяжении ряда лет И. С. Желудев читал для сотрудников новой кафедры и студентов соответствующий курс, включающий сегнетоэлектричество. На кафедре были начаты научные исследования по сегнетоэлектрикам и пироэлектрикам.

Кристаллография механических свойств кристаллов

Работы А. В. Шубникова по разделу, который принято называть механические свойства кристаллов, многообразны, интересны и тесно связаны с практикой. Сюда могут быть отнесены его работы по резке камня, шлифованию шаров, приготовлению образцов для оптики и исследования электрических свойств. Как всегда Алексей Васильевич «ищет кристаллографию», точнее, активно использует кристаллографию для ориентировки образцов, нахождения наиболее рациональных способов их обработки и пр.

Не претендуя на оценку значимости тех или иных работ А. В. Шубникова по механическим свойствам кристаллов, коснемся лишь «кристаллографии» этих свойств, представленной его блестящими работами [72, 74], в которых излагается, в частности, открытие и изучение явления механического двойникования кристаллов кварца. В этом случае под нагрузкой происходит переориентация кристалла без изменения его формы.

Работа А. В. Шубникова по «фигурам проворачивания» [98] — еще один пример глубокого проникновения тонким и вдумчивым экспериментатором с помощью макрометодов в понимание микростроения материи. Здесь особенно интересен вывод о том, что пространственные «фигуры проворачивания» должны иметь «квантованное», причем конечное число вершин: тетраэдр (4

вершины)-ˆоктаэдр (6) -ˆикосаэдр (12)-ˆсфера (оо).

Работы А. В. Шубникова по тензорной кристаллофизике содержат рассмотрение упругих свойств, анизотропии упругости [171], теплового расширения [210]. Упругие свойства при этом рассматриваются и как самостоятельное -явление и как явление, «присутствующее» при пьезоэффекте. Здесь опять через построение различного рода поверхностей (коэффициентов растяжения* модулей Юнга и пр.) четко выступает шубниковская концепция: кристалл прежде всего должен изучаться кристаллографическими методами.

Некоторые физические явления в свете симметрии по А. В? Шубникову

Говоря о физической кристаллографии, нельзя не остановиться на его работах по приложению симметрии ко многим физическим объектам и явлениям* которые выходят за рамки приложений симметрии к строению и свойствам кристаллов.

А. В. Шубников был, пожалуй, первым советским ученым, понявшим важность симметрийного подхода ко многим явлениям природы. Здесь он выступает прежде всего как физик в широком значении этого слова. В своих воспоминаниях Алексей Васильевич пишет, что его первые печатные работы, написанные в то время, когда он был студентом, были опубликованы в журнале «Физик-любитель» и не имели никакого отношения к кристаллографии [350]. Там же описываются и его опыты с им же изготовленной электрофорной машиной. «Опыты с электричеством» занимали Алексея Васильевича и в то время, когда ему было уже 70 лет. В своем кабинете он долгое время держал им же изготовленный несколько необычный электроскоп, демонстрируя, казалось бы, простые явления, относящиеся к его зарядке и разрядке. При этом Алексей Васильевич любил «экзаменовать» своих гостей, спрашивая, например, что будет с лепестком электроскопа, имеющего заряд определенного знака, если его основной стержень заземлить. Этот «экзамен» ему «сдавал» англичанин Д. Бернал, чех Петржилка, индус Багавантам и многие другие. Алексею Васильевичу нравилось, когда «экзаменуемый» ошибался. Он вообще любил повторять, что научный работник испытывает удовольствие в двух случаях: когда он что-либо поймет новое и когда он найдет ошибку у кого-либо другого. Зная это, сам Алексей Васильевич старался не допускать

ошибок. Вот пример.

Готовился специальный выпуск журнала «Кристаллография» к Международному конгрессу кристаллографов в Кембридже в 1960 г. Алексей Васильевич представил новую прекрасную работу о симметрии подобия [247]. Нужно было дать к ней резюме, естественно, на английском языке. Алексей Васильевич написал это резюме по-французски, говоря: «Английский я знаю плохо, и поэтому, кто бы резюме ни проверял, у меня останется сомнение в том, что оно не содержит ошибок». Он был строг и к ошибкам других. Однажды утром Алексей Васильевич пригласил И. С. Желудева в кабинет, вынул из портфеля новую книгу по полупроводникам известного физика и спросил: «Ваня, Вы читали эту книгу?» И. С. Желудев ответил, что не читал, и поинтересовался мнением Алексея Васильевича о ней, на что тот ответил, чеканя каждое слово: «Книгу я просмотрел, прочитал некоторые параграфы (содержание которых я мог понять) и нашел там ошибки. На основании этого я не могу быть уверенным в том, что в книге нет ошибок и в тех параграфах, которые я понять не смог».

В другой раз Алексей Васильевич рассказывал в лаборатории (не без обиды) о том, что однажды он нашел ошибки в разделе симметрии в одной из книг, написанных двумя физиками-теоретиками, и написал им об этом. В следующем издании ошибки были исправены, но авторы не только не сочли нужным сослаться на него, но даже ему не ответили. Часто А. В. Шубников рассказывал о своих самых первых шагах в научных исследованиях. На занятиях по товароведению в коммерческом училище, где он учился, одна из лабораторных работ состояла в измерении толщины волоса (в частности, щетины). Будучи дотошным, Алексей Васильевич заметил, что один и тот же волос имеет различную толщину по длине. На его вопрос «Почему?» руководитель занятий ответил, что, например, у человека толщина растущего волоса зависит от того, в каких условиях он находится. «У меня чуть не захватило дух, — рассказывал Алексей Васильевич, — когда после этого разговора я сформулировал для себя первую „научную идею“: построить график толщины волоса в зависимости от времени и по этому графику сделать суждение о том, какова была жизнь его владельца в прошлом!»

Ряд приложений симметрии к физическим объектам и явлениям, рассмотренных А. В. Шубниковым, имеет важное значение. Здесь нужно отметить его работы по симметрии электрического и магнитного полей, светового луча, эффекта Холла.

А. В. Шубников в статье [219] справедливо писал, что П. Кюри был первым, кто осознал разницу между магнитной и электрической полярностью. Эта разница лежит в основе правильного понимания многих физических явлений, пространства и -времени. Сам Алексей Васильевич обратился к проблеме симметрии электрического и магнитного полей в 1938—1939 гг. [115, 124]. Он был первым советским физиком, правильно сформулировавшим эту проблему и последовательно проанализировавшим ее. Симметрия электрического поля отвечает симметрии полярного вектора (группе симметрии неподвижного конуса, ∞ mm), а симметрия магнитного поля — симметрии аксиального (осевого) вектора (группе симметрии вращающегося цилиндра, ∞/m). Эти четкие положения впервые были введены в отечественную литературу А. В. Шубниковым. Рассмотрев проблему движущихся зарядов и ими создаваемых полей, Алексей Васильевич четко показал, что только правильное определение симметрии элекрических и магнитных полей позволяет понять «перпендикулярность магнитного поля электрическому току» (парадокс Маха): два явления, «складываясь», имеют общие элементы симметрии, плоскости симметрии и, рассматриваемые вместе, обладают симметрией полярного вектора (группа ∞ mm). Если же поток заряженных частиц является круговым (токи Ампера), то образуемое им магнитное поле ориентировано так, что оно имеет общий с этими токами элемент симметрии — плоскость симметрии (объединенная симметрия токов и магнитного поля есть в этом случае симметрия аксиального вектора, описываемая группой ∞/m). Алексей Васильевич настаивал на том, чтобы на рисунках в научных статьях и книгах аксиальный вектор изображался не в виде обычной стрелки, а в виде отрезка прямой, окруженного ориентированным кольцом.

И. С. Желудеву приходилось неоднократно обсуждать с Алексеем Васильевичем симметрию электрических и магнитных полей, многих физических явлений. Однажды И. С. Желудев заметил, что поток электронов в проводнике создает магнитное поле, подобное «выворачивающемуся» кольцу дыма, когда через него «продувают» воздух. Алексею Васильевичу сравнение понравилось, но от себя он добавил: «Даже проще, резинка, надетая на карандаш, при протягивании последнего „выворачивается[* Желудев И. С. Полная симметрия скаляров, векторов и тензоров второго ранга. — Кристаллография, 1960, т. 5, вып. 3, с. 346—353.] подобно Вашему кольцу дыма; симметрия одна и та же». Подобная четкость моделирования была характерной особенностью его мышления.

Одно из самых крупных достижений А. В. Шубникова — учение об антисимметрии. Им самим это учение развивалось как учение о симметрии (и антисимметрии) фигур, а не явлений. Перенос обобщений основных положений антисимметрии на физические явления был выполнен И. С. Желудевым, с помощью рассмотрения полной симметрии скаляров векторов и тензоров. Поначалу Алексей Васильевич принял это обобщение спокойно, но позднее отнесся к нему весьма критически. Сберегая «чистоту симметрии фигур» (хотя бы и черно-белых), он протестовал против введения в понятие, как он говорил, уже занятого слова «симметрия» таких представлений, которые уходили бы от фигур/ Все это, к сожалению, уживалось с тем обстоятельством, что в свое время А. В. Шубников явился апологетом распространения симметрии на физические явления с использованием фигур с предельной симметрией (например, шаров, описывающих симметрию скаляров и псевдоскаляров). Вместе с тем позднее было интересно наблюдать, как Алексей Васильевич «обнаруживал» плоскости антисимметрии в магнитном поле, ориентированные вдоль поля, и тем самым фактически признавал справедливость положений полной симметрии [261].

А. В. Шубников неоднократно обращался к проблеме симметрии светового луча. В конечном счете его представления базировались на уже указанных особенностях взаимной ориентации электрических и магнитных полей. По Алексею Васильевичу, в плоскополяризованной световой волне, соответствующей колебаниям вектора E, меняющегося по синусоидальному закону, магнитное поле перпендикулярно плоскости поляризации и также меняется по синусоидальному закону, изменяя направление через каждые полволны.

Образцом модельно-симметрийного подхода к физическим явлениям служит проведенное А. В. Шубниковым рассмотрение эффекта Холла. Эффект моделируется через текущую воду, перпендикулярно поверхности которой помещен вращающийся цилиндр. В этих условиях половина боковой поверхности цилиндра движется по течению воды, ускоряя его, а вторая — против течения, замедляя его. В результате с одной стороны уровень воды прибывает, а с другой — убывает. Возникает «поперечный перепад» воды. Потоку воды в модели отвечает текущий ток: вращающемуся цилиндру — перпендикулярное магнитное поле, а перепаду уровней — поперечная разность потенциалов, возникающая в эффекте Холла. Все явление имеет симметрию т (плоскость симметрии, перпендикулярная магнитному полю).

В конце 50-х годов большой резонанс получило открытие так называемого несохранения четности при слабых взаимодействиях. В литературе появились разного рода толкования этого явления, в том числе неправильные. А. В. Шубников сразу понял, что несохранение четности может быть объяснено прежде всего на основе законов симметрии и дал его ясную интерпретацию, базирующуюся на представлениях о симметрии магнитного поля [125]. При этом он попытался смоделировать элементарные частицы с использованием «движущихся» и «вращающихся» «черных» и «белых» шаров. Такой подход был несомненно перспективным.

Глава 11
Рост кристаллов в работах А. В. Шубникова

Одним из первых, определивших значимость проблемы роста кристаллов, сложность ее задач и важность практического метода, был А. В. Шубников. Он писал: «По многообразию явлений, сопровождающих образование кристаллов, оно может быть сопоставлено, пожалуй, только с жизнью организмов». Эта проблема «непосредственно связана с промышленным выращиванием искусственных кристаллов, без которых немыслимо дальнейшее развитие ни самой науки о кристаллах, ни некоторых отделов современной техники» [211, с. 13].

Реальная структура кристаллов

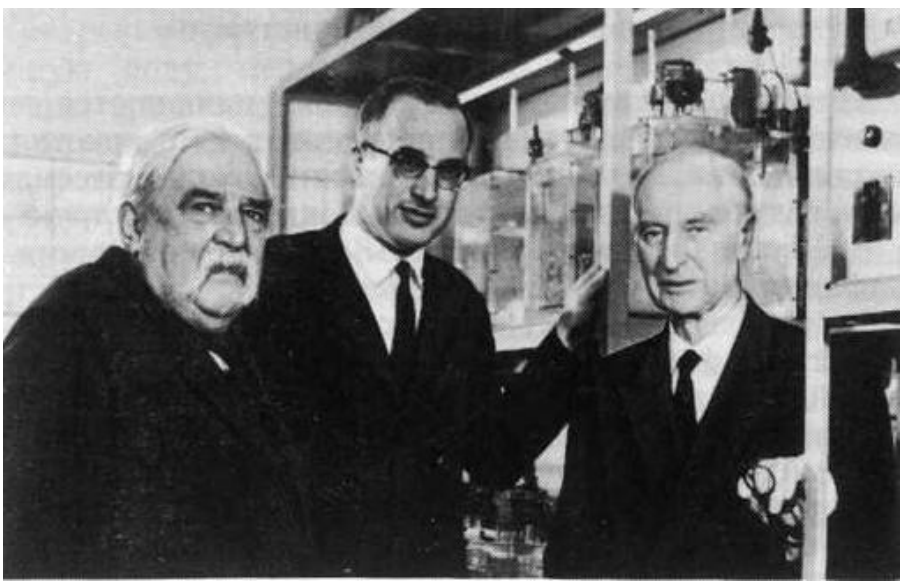
Именно работами А. В. Шубникова начинаются систематические исследования процессов роста кристаллов. В отличие от старой кристаллографии, которая рассматривала только идеальные формы и идеальные структуры, А. В. Шубников заложил основы современной кристаллографии, обратив особое внимание на исследование структуры «реальных кристаллов со всеми присущими им дефектами формы и строения» [244]. По Шубникову, всякий реальный кристалл представляет собой тело конечных размеров. Его можно рассматривать как совокупность «пирамид», сходящихся своими вершинами в начальной точке роста; основаниями пирамид служат грани кристаллов; ребрами пирамид — линии движения вершин многогранника во время его роста (закон Бекке) [256]. Из этого определения следует, что физические свойства пирамид с основаниями, принадлежащими к разным простым формам, оказываются неодинаковыми. Это определяется «различием структуры граней разных форм», что, естественно, сказывается при захвате примесей и образовании дефектов.

Такое представление позволило определить различие между реальной и идеальной структурами. Основываясь на послойном (ступенчатом) росте кристаллов, толщина слоев которого в реальных условиях колеблется от «нескольких ангстрем до одного миллиметра», А. В. Шубников отметил, что строгая

периодичность структуры, свойственная идеальному кристаллу, в действительности нарушается. Он предложил рассматривать пирамиды роста как «особого рода текстуры», главная ось которых (нормаль к основанию пирамиды) не может быть осью бесконечного порядка (как в обычных текстурах), а обязательно является кристаллографической осью. Наличие одного особенного направления в пирамидах роста означает, что они по своей симметрии могут принадлежать не ко всем 32 кристаллографическим классам, а только к 27. Пять классов кубической системы выпадают, поскольку они не имеют единственных направлений.

Исходя из того, что растущая грань сохраняет свою ориентировку в пространстве, А. В. Шубников сделал вывод о геометрической полярности явлений роста. В частности, эта полярность проявляется при захвате примесей и механических частиц. Симметрия пирамид роста, обладающих полярной осью, исчерпывается десятью группами:

$$1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 6$$
$$m \quad 2 \cdot m \quad 3 \cdot m \quad 4 \cdot m \quad 6 \cdot m$$



В лаборатории поисковых исследований Института кристаллографии АН СССР.

Слева направо: старшие научные сотрудники Б. В. Витовский, Л. А. Шувалов и академик А. В. Шубников.

Захват макро- и микрочастиц пирамидами роста приводит к понижению их симметрии. При этом наибольшим комплексом

свойств обладают наиболее дисимметризованные пирамиды роста.

А. В. Шубников пришел к важному практическому выводу о том, что по физическим свойствам пирамиды роста высокосимметричных кристаллов аналогичны низкосимметричным кристаллам. Если условия роста кристаллов меняются периодически, то и условия образования дефектов на гранях также должны меняться периодически. Отсюда каждый кристалл можно рассматривать «как совокупность оболочек, расположенных концентрически относительно начальной точки роста». Таким образом, А. В. Шубников дал достаточно полное представление о реальной структуре кристаллов, особо подчеркнув ее секториальную и зонарную специфику. В настоящее время эта структура является предметом всестороннего исследования.

Геометрические представления о росте кристаллов

Учитывая исключительную сложность процессов образования кристаллов, А. В. Шубников первые свои шаги в области теории роста делал на основе геометрических представлений, которые вытекали из симметрии кристаллов. Были сформулированы семь законов, составивших первое представление об образовании кристаллов [20]. Эти законы, с одной стороны, касаются геометрически правильной формы кристаллов, а с другой — кинетических факторов, влияющих на их образование. Первый закон гласит: «Возможной формой кристалла является любой многогранник, вырезанный из пространственной решетки по возможным граням» [20, с. 1]. При этом любая плоскость, проходящая через три узла решетки, не лежащих на прямой, есть возможная грань кристалла, а линия, проходящая через два любых узла пространственной решетки, есть возможное ребро кристалла. В приведенной формулировке был просуммирован огромный опыт наблюдений за формой кристаллов при их образовании. Эти же наблюдения позволили сформулировать и еще два закона: «... в постоянных условиях во время роста форма кристалла остается себе подобной» и «грани и ребра пирамид нарастания суть возможные грани и ребра кристалла и, как таковые, должны быть рациональными, то есть удовлетворять закону целых чисел Гаюи» [20, с. 1, 2].

Таким образом, приведенные три положения характеризуют кристалл как отдельный индивид. В следующих четырех законах

А. В. Шубников впервые пытался учесть кинетические факторы кристаллизации. В этой связи четвертое положение сформулировано следующим образом: «...отношение скоростей роста разных граней друг к другу равно отношению целых чисел». Это положение основано на представлении о том, что скорость роста граней определяется числом осевших на ней молекулярных слоев. Так как время, за которое образуется один монослой, вполне определенное, хотя и малое, то следующий закон гласит: «... кристалл растет скачками». А это позволило А. В. Шубниковугнрийти к очень важному выводу: «форма кристалла есть прерывная функция условий роста» [20, с. 2—9].

На базе геометрических представлений А. В. Шубникова закладывались основы современной теории роста кристаллов. Он указывал, что из-за многообразия явлений, сопровождающих рост кристаллов, единая теория, учитывающая как зарождение, так и непосредственно кинетику роста, пока не создана [86, с. 17]. У истоков такой теории, однако, лежат шубниковские геометрические представления, которые оказались исключительно плодотворными при изучении таких важных явлений, как геометрический отбор,юртотропия и термотаксия, параллельное срастание кристаллов друг с другом и др.

Явление геометрического отбора

А. В. Шубников рассмотрел общий случай зарождения и роста нескольких кристаллов произвольной ориентации вдоль прямой АВ (рис. 3). После соприкосновения кристаллов друг с другом вступает в силу принцип отбора, сформулированный Гроссом и Мёллером [152, с. 679]. В силу этого принципа число кристаллов, пересекаемых отрезком А'В' параллельным и равным АВ и находящимся на расстоянии А, будет убывать с возрастанием этого расстояния и при достаточно его большом значении снизится до единицы. На основании этого принципа А. В. Шубников вывел закон убывания числа кристаллов при их разрастании. Для этого он .ввел два допущения: 1) отрезок АВ принимается с самого начала сплошь «зараженным» кристаллами, тогда цринцип отбора вступает в силу с самого момента возникновения кристаллов.; 2) среднее поперечное сечение кристаллов, сохранившихся в результате естественного отбора, должно быть тем больше, чем больше значение х. Это означает, что число кристаллов, пересекаемых отрезком А'В', пропорционально 1/х, т. е. $n = k/x$, где k— фактор масштаба и

формы кристалла. Это уравнение гиперболы и есть закон отбора для двумерных кристаллов. При этом x и n могут изменяться от 0 до ∞. Для трехмерного случая (рост осуществляется от сплошь зараженной плоскости) закон геометрического отбора имеет вид: $n = k/x^2$. В том случае, когда число зародышей равномерно распределено по плоскости зарождения, это уравнение выглядит так: $n = k/x^2$—а.

В опытах по кристаллизации хлористого аммония [264] в растекшейся по поверхности стекла капле водного раствора было замечено, что в ряде случаев дендриты, возникающие с края капли, ориентируются своей* длиной взаимно параллельно большими группами щ как.правило, растут недостаточно строго радиально к центру капли, т. е. не по правилу геометрического отбора.

Оказывается, что при слабом подогреве стеклянного диска и соответственно при медленном испарении капли на ее периферии возникает небольшое, число центров кристаллизации, чаще всего — один. Окружая каплю, дендрит принимает форму кольца. Примерно через 90° кольцевой дендрит останавливается из-за того, что попадает передним концом в неудобное для продолжения роста положение относительно ободка капли. В этом месте прежняя система наиболее быстро растущих ветвей кольцевого дендрита сменяется, новой системой. Этим объясняется кажущееся нарушение принципа геометрического отбора.

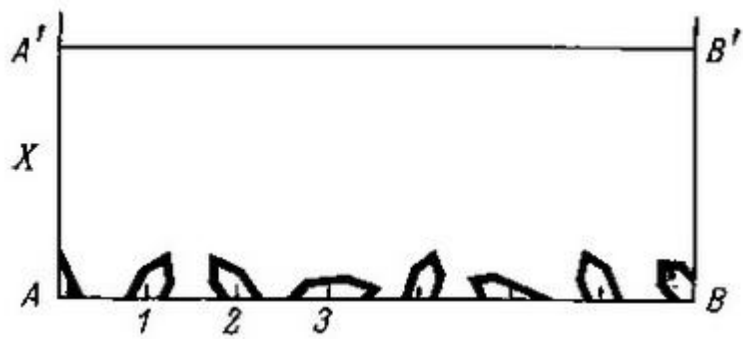


Рис. 3. Рост двумерных кристаллов в направлении x.

Явление ортотропизма

При массовом зарождении общая ориентировка кристаллов (ортотропизм,) определяется как чисто геометрическими факторами„ так и тепловыми (термотаксис — ориентировка

кристаллов по направлению отдачи тепла). Для определения роли геометрических и тепловых факторов А. В. Шубников совместно с Г. Г. Леммлейлом осуществил экспериментальные исследования, используя вещества, легко переохлаждающиеся и обладающие малой линейной скоростью роста (салол, бензофенол, а-нафталин, кумарин и др.) [36]. Были проведены опыты по кристаллизации пленки жидкости, находящейся между двумя покровными стеклами, причем введение затравочных кристаллов осуществлялось как с центра, так и с периферии. В первом случае возникал сферолит, рост которого при встрече с препятствием останавливался. Во втором случае при травлении по периферии квадрата образовывалась фигура конверта. В случае применения круглого стекла образуется картина псевдосферолита. Это явление ортотропии объясняется тем, что на участке линии зарождения одновременно возникает ряд равноценных центров кристаллизации. Некоторое время из каждого центра свободно во все стороны развивается кристалл или радиальный пучок кристаллов. В тот момент, когда соседние кристаллы или пучки сталкиваются, дальнейший их рост остается возможным лишь в направлении, близком к перпендикулярному относительно линии, соединяющей центры кристаллизации. Если расстояние между центрами кристаллизации произвольно мало, то в результате от каждого образуется один луч, ширина которого равна расстоянию между центрами кристаллизации, а направление роста нормально к линии зарождения. Из этих опытов следует, что ортотропия роста кристаллов в рассмотренном случае вызывается чисто геометрическими факторами, а направление отдачи тепла не играет существенной роли.

Параллельное срастание кристаллов друг с другом

Детальное исследование природы образования сростков кристаллов оказалось возможным в опытах, в которых рассматривалось закономерное срастание отдельных граней куба и октаэдра кристалла алюмокалиевых квасцов [73]. Опыт, поставленный А. В. Шубниковым совместно с М. П. Шаскольской, проводился следующим образом. В растворе, в котором растет основной кристалл, были получены мелкие кристаллики, которые встряхиванием сбрасывались на основной кристалл. Часть их сразу же прилипала к кристаллику. Исследования показали, что около 80% составляли сростки октаэдров с октаэдрами. При этом

наблюдалось два типа закономерных срастаний: параллельные сростки (рис. 4, 5) и двойники по шпинелевому закону (рис. 5). Доля сростков куба с октаэдром составила около 8%.

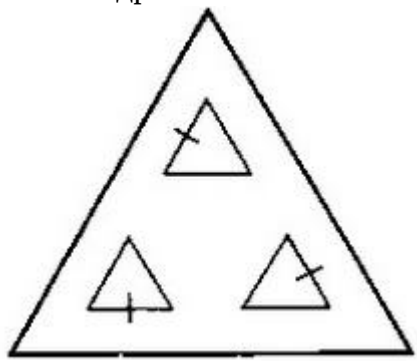


Рис. 4. Положение грани октаэдра на грани октаэдра, приводящее к параллельным сросткам.

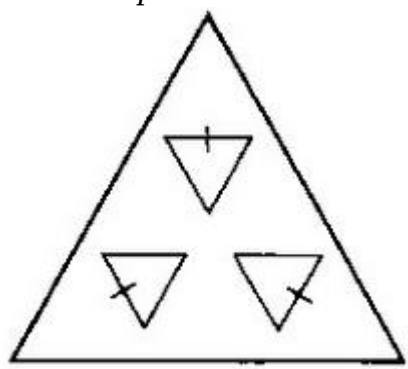


Рис. 5. Положение грани октаэдра на грани октаэдра, приводящее к двойникам по шпинелевому закону.

Существовавшее ранее мнение, что параллельность срастания определяется вероятностью падения кристалликов на грань основного кристалла, а закономерные сростки «выживают» вследствие естественного отбора, не давало ответа на вопрос о том, почему около 80% кристалликов, падающих на грань октаэдра, слипаются в параллельном положении. В этой связи А. В. Шубников высказал предположение о том, что упавший кристаллик поворачивается вокруг нормали к плоскости соприкосновения, если угол поворота не превосходит некоторой определенной величины.

Указанное предположение было подкреплено следующим соображением. Повороты маленьких кристалликов связаны с существованием в двух срастающихся гранях рядов решетки с равными параметрами. Поскольку две произвольные молекулярные плоскости кристалла пересекаются в одном общем им ряде пространственной решетки, наличие по меньшей мере

одного ряда с одинаковыми параметрами для двух срастающихся граней всегда обеспечено. Так как кристаллы могут срастаться только своими реально существующими и хорошо развитыми гранями, то для каждой произвольной пары граней можно наперед определить все мыслимые законы срастания, число которых в силу ограниченности числа граней не может быть слишком большим. Закономерные срастания, однако, могут быть не только за счет «эмбриональной частицы», но и в результате пластических деформаций и слипания кристаллов, а также при полиморфных срастаниях. Срастание кристаллов за счет поворота вокруг оси в дальнейшем было использовано в теории роста кристаллов с участием двумерных зародышей.

Рост крупных кристалликов за счет растворения мелких

Во взаимодействии кристаллов разных геометрических форм и размеров, наряду с кинетикой, важную роль играет термодинамика процесса, например поверхностная энергия и капиллярные явления. Для выяснения роли термодинамики А. В. Шубниковым и Н. В. Гордеевой был исследован процесс укрупнения кристаллических зерен сегнетовой соли за счет растворения малых частиц [336]. Изучение этого явления важно еще и в практическом отношении, поскольку в промышленных условиях выращивания монокристаллов из раствора одним из определяющих процессов является операция предварительного вымешивания с целью получения строго насыщенного раствора.

Для проведения опытов по самоукрупнению кристаллов был использован прибор, состоящий из ряда герметически закрытых цилиндрических стеклянных кристаллизаторов, медленно вращаемых вокруг горизонтальной оси. Одновременно осуществлялись периодический нагрев и охлаждение кристаллизаторов, загруженных смесью порошка сегнетовой соли в растворе.

Явление самоукрупнения кристаллов обнаруживается на веществах, растворимость которых наиболее сильно зависит от температуры. Для таких веществ при заданной амплитуде температурных колебаний растворение кристаллов и. их рост происходят быстрее, чем для веществ со слабой температурной зависимостью' растворимости. Полученная кривая самоукрупнения (рис. 6) свидетельствует о том, что этот процесс наиболее интенсивно протекает в начальной стадии, затем замедляется и практически прекращается.

Явление укрупнения кристалликов обусловлено повышенной растворимостью мелких частиц из-за стремления системы иметь минимальное значение поверхностной энергии, затратив на это небольшую работу за счет периодического нагрева и охлаждения смеси.

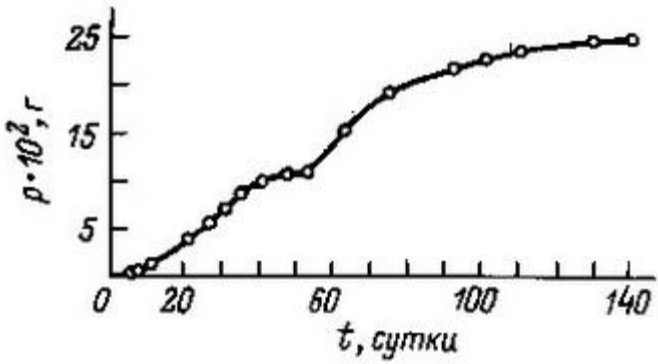


Рис. 6. Кривая зависимости крупности зерен порошка сегнетовой соли от времени.

Капиллярные явления и плавающие кристаллы

Роль капиллярных явлений особенно отчетливо проявляется на поверхности жидкости в связи с образованием особой упругой пленки, называемой капиллярной. Несмотря на tq, что эта пленка .по химическому составу ,не отличается от остальной части жидкости, их физические свойства ;резко различны, что связано с молекулярной структурой пленки. В опытах с плавающими кристаллами салола [52] А. В. Шубников с соавтором обнаружили, что такие кристаллы, быстро распространяясь по поверхности, не слипаются друг с другом. Между ними происходит отталкивание, которое, кроме капиллярной природы, может быть связано с конвективными потоками. Капиллярная сила определяется ее зависимостью от градиента температуры, который при росте кристаллов может достигать значительной величины. Видимо, этот процесс является превалирующим и способствует отталкиванию .плавающих кристалликов.

Тепловые процессы кристаллизации

Исследуя процессы кристаллизации, А. В. Шубциков обратил

внимание на важность учета тепло- и массопереноса. Так, он - рассмотрел два случая кристаллизации [255], которые должны были ответить на вопрос о том, может ли кристалл иметь температуру выше температуры среды? Первый случай, когда растущий кристалл полностью окружен питающей средой, и второй случай — кристаллическая оболочка заключает в себе питающую среду. Для первого случая характерно неравенство $T > T_k > T_c$, указывающее на факт роста кристалла (T — температура плавления; T_k — температура кристалла и T_c — температура равновесия кристалла со средой). Для второго случая $T > T_c > T_k$. Это означает, что среда имеет более высокую температуру, чем кристалл. В первом случае величина переохлаждения кристалла меньше величины переохлаждения среды, однако при этом кристалл растет. Происходит перегрев кристалла за счет теплоты кристаллизации. Таким образом, вполне вероятен случай, когда кристалл будет иметь температуру выше температуры питающей среды.

Сопоставление условий роста с условием плавления ($T_c > T > T_k$) позволяет утверждать, что между кристаллизацией и плавлением отсутствует паритет в том случае, если перегрев кристалла невозможен. Однако в тонких слоях это условие может и не соблюдаться.

Рассмотрением роли тепловых факторов при кристаллизации А. В. Шубников попытался расширить геометрические представления об образовании кристаллов, обогатив их физическими представлениями. В этой связи он указывал на необходимость рассмотрения как кинетических факторов, определяемых молекулярными процессами непосредственно на фронте роста, так и факторов тепло- и массопереноса.

Гранные и негранные формы роста

А. В. Шубников обратил внимание на то, что некоторые кристаллы при росте образуют кривые грани, что на первый взгляд противоречит закону простых индексов [21]. Такие кристаллы были обнаружены у салола; они имели четыре кривые грани, четыре ребра и две вершины. Обнаруженные, наряду с прямолинейными, криволинейные формы роста обусловлены действием, соответственно, двух механизмов: механизма тангенциального роста, для которого характерны атомно-гладкие поверхности, и механизма нормального роста с характерной для него «атомношероховатой» поверхностью. Эти первые

принципиально важные результаты способствовали развитию теории роста. Значимость полученных результатов существенно возросла в связи с обнаруженной А. В. Шубниковым зависимостью формы кристаллов от температуры переохлаждения раствора. Было показано, что выше 30 °С кристаллы салола имеют форму ромбов, ниже 23 °С — форму лодочек, в интервале 23—30 °С — промежуточные формы.

Таким образом, форма кристаллов является прерывной функцией температуры, что подтверждает закон скачков, который в общем виде формулируется так: «Форма кристаллов есть прерывная функция условий роста».

Кристаллизационное давление

В связи с попыткой определить физические факторы кристаллизации А. В. Шубников обратился к исследованию явления, связанного с отталкиванием растущим кристаллом механических частиц [88]. Это явление, обусловленное многими факторами, связано непосредственно с термодинамикой и кинетикой процесса кристаллизации. Для понимания самого факта отталкивания механических частиц необходимо знать определение величины кристаллизационного давления.

Был сконструирован специальный прибор (рис. 7), основу которого составлял стеклянный шарик, подвешенный на стеклянной нити. Стеклянный шарик, соприкасаясь с растущей гранью кристалла, испытывал давление со стороны грани, что в свою очередь вызывало изгиб нити. По отклонению этой нити определялась сила, с которой растущий кристалл толкает встречаемые гранями препятствия. Кристаллизационная сила f, действующая на 1 см^2 поверхности, оценивалась согласно следующему выражению:

$$2\pi f \int_{x=0}^{x=r} y \cos(f_1 s)\, ds = P,$$

где P — полная нагрузка на поверхность шарового слоя; ds — элемент поверхности шарового слоя, соприкасающейся с растущим кристаллом, fds — нормальная нагрузка на ds; fdscos (f_1s) — слагающая нормальной нагрузки по направлению x отклонения шарика; 2π yfdscos (f1s) — нагрузка на элементарный шаровой слой, отвечающий элементу поверхности ds.

Экспериментальные исследования позволили определить

кристаллизационную силу для алюмокалиевых квасцов, равную 0.41 г/см^2. Оказалось, что кристаллизационное давление возрастает с увеличением пересыщения раствора. Оно практически не зависит от природы отталкивающей грани, слабо зависит от химической природы кристаллизующегося вещества и свойства растворителя.

Опыты по кристаллизационному давлению позволили рассмотреть механизм захвата частиц макроскопических размеров и распространить его на-захват примесей.

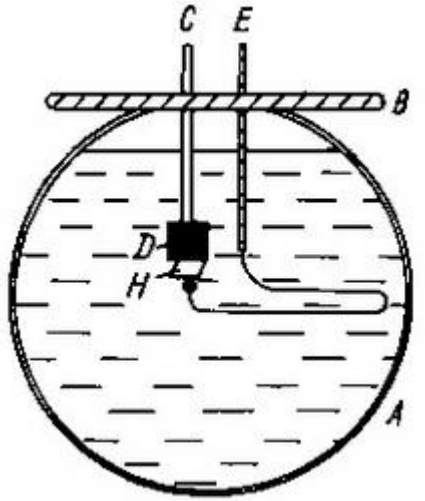


Рис. 7. Аппарат для измерения кристаллизационной силы.

A — сферический стеклянный сосуд; B — пластинка из зеркального стекла с двумя отверстиями; C — стеклянная палочка; D — каучуковая пробка; E — стеклянная палочка, оттянутая в тонкую нить с шариком диаметром 2r; H — кристалл, предназначенный для опыта.

Вициналъные грани

С влиянием примесей на кинетику кристаллизации связаны многие явления, в том числе и образование вициналъных граней. А. В. Шубников показал, что угол между вициналями алюмокалиевых квасцов есть характерная константа кристаллов, выросших при определенном пересыщении :[87]. На рис. 8 представлена зависимость угла между вициналъными гранями октаэдра от пересыщения. Видно, что этот угол представляет собой непрерывную функцию от пересыщения. При отсутствии пересыщения он равен нулю. Отсюда следует важный вывод, что

кристалл, выращенный бесконечно медленно, вицинальных граней не имеет. Можно думать, что такая зависимость определяется примесями в кристалле, содержание которых при малых скоростях, роста мало.

По вопросу о возникновении вицинальных граней существуют и другие гипотезы [46], например гипотеза о рациональности вициналей,. предложенная Шустером. Эта гипотеза не позволяет предсказать появление вициналей в зависимости от условий роста. Гипотеза Е. С. Федорова базируется на существовании в растворе двумерных пленок, образующих вицинальные грани. Эта гипотеза, однако, не дает ответа на вопрос о том, почему в случае алюмокалиевых квасцов вицинальные грани образуются только на грани октаэдра. Гипотеза «скучивания» М. В. Ерофеева и А. Н. Карножицкого предполагает двойниковое срастание и прорастание нескольких кристаллов под очень малыми углами друг к другу. Однако в этом случае кристалл должен состоять из участков, отличающихся друг от друга углами поворота. Гипотеза непараллельного расположения молекул в узлах кристаллической решетки также не в состоянии объяснить, почему такая непараллельность характерна только для' грани октаэдра. И, наконец, существует гипотеза Эренфеста, которая основана на том, что капиллярные постоянные вицинальных граней близки к граням простого символа. А. В. Шубников отдавал-предпочтение гипотезам Шустера и Эренфеста, которые позволяли объяснить причину возникновения вициналей на транш октаэдра и отсутствия их на грани куба.

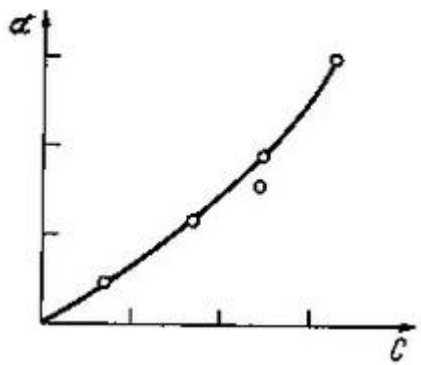


Рис. 8. Зависимость угла между вицинальными гранями и степенью пересыщения раствора.

Влияние электрического потенциала на возникновение центров кристаллизации

Примеси и механические частицы оказывают существенное влияние не только на процесс роста, но и на процесс зарождения кристаллов. Об этом свидетельствуют данные, полученные А. В. Шубниковым совместно с В. Ф. Парвовым при кристаллизации хлористого аммония из раствора под действием электрического поля [257]. При этом интенсивно возникают новые центры кристаллизации. Было замечено, однако, что во влажной атмосфере этот эффект исчезает. Причина явления, видимо, заключается в том, что под действием электрического поля из атмосферы в раствор попадают возбуждающие кристаллизацию твердые частицы хлористого аммония. Если атмосфера влажная, то адсорбция влаги на частицах хлористого аммония приводит к их растворению.

Сила, действующая на частицу, $f = qE$ (здесь q — заряд частицы; E — напряженность поля в точке, где находится частица) направлена вдоль соответствующей силовой линии в сторону возрастания напряженности. Эта сила возникает из-за неодинакового распределения индуцированных зарядов на противоположных сторонах частицы.

Формы кристаллов и образование сферолитов

Форма роста кристаллов является основным морфологическим признаком, позволяющим установить условия их образования [225]. Нормальная скорость роста из расплава грани может быть представлена в виде:

$V_i = a_i(T_i - T_k)$,

где Ti — температура равновесия между средой и гранью i-й простой формы; T_k — температура среды у поверхности кристалла; a_i — постоянная.

Если для исследуемого кристалла все величины a_i, T_i известны, то по ним может быть построена зависимость скорости роста от температуры T_k и воспроизведена форма кристалла для любой температуры T_k.

Предположим, что теплообмен между кристаллом и средой осуществляется путем молекулярной теплопроводности и тетрагональный кристалл имеет только грани призмы {100} и базиса {001}. Если скорость роста граней базиса v_1 больше скорости роста граней призмы v_2, то кристалл будет иметь столбчатый габитус. При обратном соотношении скоростей — пластинчатый.

Также предположим, что $v_1 > v_2$, тогда прямая $v_1 = a_1(T_1 — T_k)$

лежит выше кривой $v_2 = a_2(T_2—T_k)$, как показано на рис. 9.

Если кристалл возник при значительном переохлаждении расплава ($T_k < T$), то форма кристалла будет определена из соотношения:

$x/z = v_1/v_2$,

где x — ширина кристалла по оси X; z — его высота по оси Z (001).

Вследствие выделения скрытой теплоты температура кристалла повысится до T''_k. При T''_k, близкой к T_2, отношение v_1/v_2 может стать очень большим, при $T_k = T_2$ - бесконечно большим. Это значит, что в подобных условиях рост граней призмы может прекратиться полностью, вследствие чего кристалл будет приобретать все более удлиненную форму. При обратном соотношении $v_1 < v_2$ он примет уплощенную форму. Такие формы в термодинамическом отношении менее выгодны, чем форма сферолита, образующегося в результате расщепления столбчатого кристалла вдоль оси Z и пластинчатого кристалла вдоль плоскости базиса.

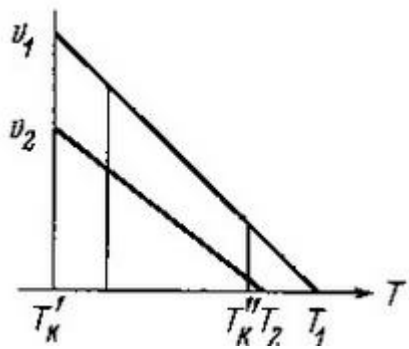


Рис. 9. Зависимость нормальных скоростей v_1 и v_2 граней базиса и призмы тетрагонального столбчатого кристалла от температуры T.

Форма шара, покрытого маленькими гранями, имеющими наименьшее из возможных значений удельной поверхности энергии, в энергетическом отношении является более выгодной, чем многогранная. Расщепление сферолита происходит по плоскости спайности, а образован он плоскостями, обладающими наибольшей удельной поверхностной энергией.

Для сферолита, сплошь покрытого гранями {001}, при равенстве объемов кристалла V_k и сферолита V_s имеют место следующие соотношения:

$$\sigma_1 < \sigma_2, \quad \Sigma_g = 4\pi R^2 = 4.8\sqrt[3]{x^4 z^2},$$

где Σ_g — поверхность сферолита; R — его радиус.

$$E'_g = 4.8\sigma_1 \sqrt[3]{x^4 z^2},$$

где E'_g — поверхностная энергия сферолита.

Для сферолита, сплошь покрытого гранями {100},

$$\sigma_1 > \sigma_2, \quad E''_g = 4.8\sigma_2 \sqrt[3]{x^4 z^2},$$

где E''_g поверхностная энергия сферолита, образованного из пластинчатого кристалла.

При $E''_g = E_k$

$$2x^2\sigma_1 + 4xz\sigma_2 = 4.8\sigma_2 \sqrt[3]{x^4 z^2}$$

и окончательно:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 1.2 \sqrt[3]{\frac{z^2}{x^2} - \frac{z}{x}}.$$

Анализ полученных выражений свидетельствует о том, что при $E'_g > E_k$ более выгодна столбчатая форма кристаллов, а при $E'_g < E_k$ — сферолит, Аналогично и для пластинчатой формы: при $E''_g > E_k$ более устойчива пластинчатая форма, а при $E''_g < E_k$ — сферолит.

Сферолит может возникать в вязкой переохлажденной жидкости из многих кристаллических зародышей, сосредоточенных в одной «точке», либо из одного монокристального зародыша путем его расщепления [226]. В первом случае образование сферолита обусловлено чисто геометрической причиной: возможностью для каждого зародыша расти только в одном направлении — по радиусам из определенной «точки». Между растущими кристаллами возникает «борьба за существование», в результате которой «выживают» лишь те из них, которые по закону геометрического отбора ориентированы направлениями наибольших радиальных скоростей.

Если сферолит образуется из столбчатого или игольчатого кристаллика, то расщепление кристалла сопровождается образованием двулистника (рис. 10). Последний может состоять либо из вытянутых листков, либо круглых глазков, либо из двух спиральных завитков.

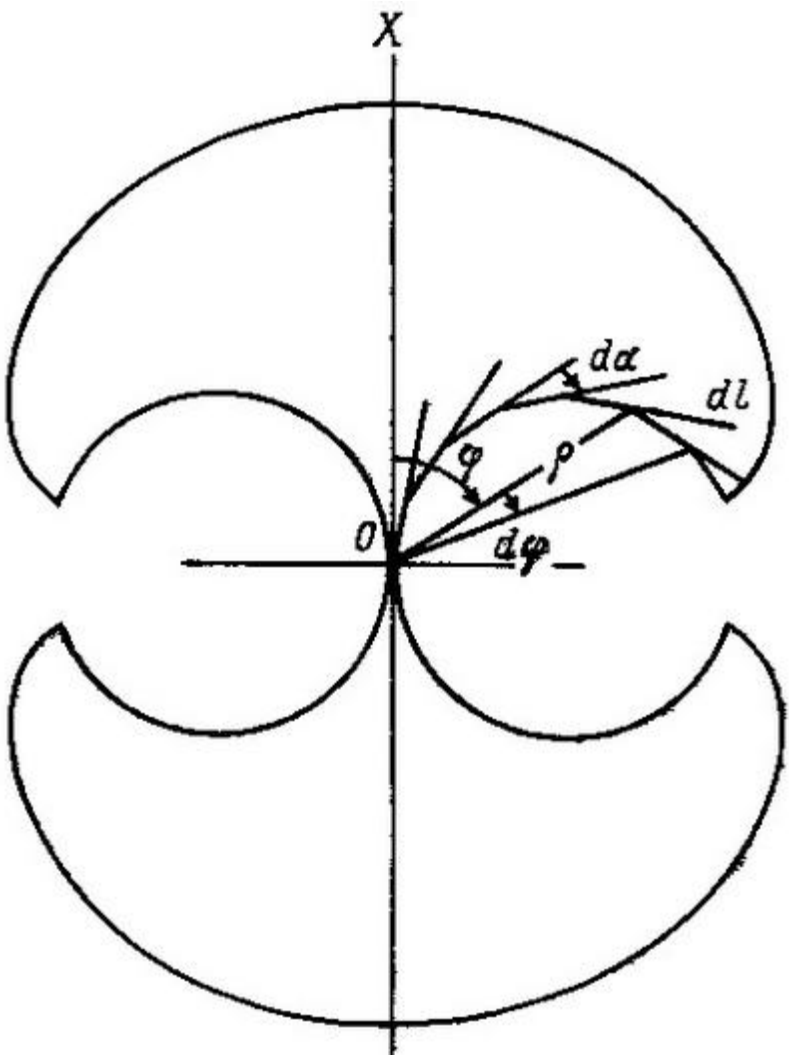


Рис. 10. Пояснение закона образования двулистника с круглыми «глазками».

Кривая двулистника с круглыми глазками диаметром a описывается следующим выражением:

$\rho = \alpha \sin \varphi$, $d\alpha = 2d\varphi$.

Пусть длина кристалла l в результате его роста увеличивается со скоростью:

$v_1 = dl/dt$

а расщепление идет с угловой скоростью:

$v_2 = d\alpha/dt = 2d\varphi/dt$.

Отношение этих скоростей при образовании сферолита постоянно:

$k = v_1/v_2 = dl/d\alpha = 1/2\ dl/d\varphi$.

Если при росте кристалла k увеличивается или уменьшается по закону $k = k_0 + k_1t$, то листочки двулистника будут приобретать либо удлиненную форму, либо форму завитка.

С целью определения конечной формы сферолита А. В. Шубников рассматривает соотношения между линейной скоростью роста и скоростью расщепления. Например, если линейный рост ускоряется, а расщепление идет с постоянной скоростью, происходит удлинение формы. В противном случае — двулистник будет образован четырьмя спиралями.

Необычно ведут себя сферолиты трифенилметана [235]. При более высокой температуре возникают быстро растущие перистые сферолиты, а при более низкой — хорошо образованные, медленно растущие сферолиты. В этом случае образуются кольца (ритмический рост), которые возникают из прямолинейных «волн», направленных по касательным к поверхности сферолита. Эти волны распространяются далеко за пределы сферолита в расплав. О том, что кольца сферолита действительно представляют собой как бы замороженные волны жидкости, свидетельствует факт исчезновения этих волн при кристаллизации между двумя покровными стеклами.

А. В. Шубников рассматривал кристалл и как отдельный индивидуум, и как кристаллическую среду [102]. Чтобы понять слово «индивидуум» в отношении кристаллов, необходимо обратиться к истории самой кристаллографии. Еще в 1669 г. Н. Стеной показал, что его закон постоянства углов в равной мере имеет отношение как к структуре кристаллов, так и к их внешней форме. «Этот закон постоянства углов должен быть справедлив не только по отношению к существующим в данный момент на поверхности кристалла и определяющим его временную форму граням, но также и по отношению к существовавшим когда-то на поверхности, а ныне продолжающим свое существование внутри кристалла, его молекулярным плоскостям. Уже с точки зрения закона постоянства гранных углов, первого закона внешней формы кристаллов, существенным оказывается не внешняя форма кристаллов, а строение, не кристаллический индивидуум, а кристаллическая среда... Так, от внешней формы кристаллического индивидуума, благодаря правильному логическому развитию наших представлений о кристалле, мы приходим к понятию кристаллической среды или бесконечно большому кристаллу, совершенно не имеющему внешней формы» [102, с. 2]. Изучая оптические свойства высокосовершенных монокристаллов, исследователи пришли к понятию «кристаллической однородности», допускающему деление кристалла на совершенно одинаковые части «неделимых»

кристаллических индивидов.

Систематическое изучение симметрии внешней формы кристаллов привело к открытию 32 видов симметрии, что позволило отличать кристаллы друг от друга по внешней форме. Понятие кристаллической среды здесь уступает понятию кристаллического индивида. Более глубокое изучение симметрии кристаллов, однако, позволило Е. С. Федорову и А. Шенфлису установить 230 пространственных групп. Такую симметрию может иметь бесконечно большой кристалл, т. е. кристаллическая среда.

Особо следует остановиться на известной книге А. В. Шубникова [86], вышедшей в свет еще в 1935 г., но до настоящего времени не только не потерявшей своего значения, но являющейся настольной книгой кристаллографов-ростовиков. Впервые в этой книге целиком была представлена проблема роста кристаллов, раскрыта ее значимость и взаимосвязь с другими разделами кристаллографии.

Книга содержит семь разделов. В первом из них приводятся общие сведения о кристаллах, причем особое внимание уделяется их геометрически правильной форме. Ведь именно изучение внешней формы кристаллов позволило установить закон постоянства углов, вывести представление об идеальной и реальной формах кристаллов, составить понятие о простых формах. Пользуясь этими представлениями, А. В. Шубников отметил, что всякий кристалл можно рассматривать как совокупность концентрических многогранных оболочек, минимальная толщина которых равна толщине одного молекулярного слоя. В результате этого простую форму кристаллов составляют не только геометрически равные, но главное физически равные поверхности. Этот вывод лег в основу реального кристаллообразования. Вот почему А. В. Шубникова следует считать основоположником этого направления, играющего в настоящее время важнейшую роль. Он одним из первых дал описание реальной структуры кристаллов: понятие энантиоморфизма, двойников и закономерных сростков, обратив внимание на закон кристаллической однородности, согласно которому кристалл является одновременно и однородным и анизотропным. Свойства его вдоль параллельных направлений одинаковы, а вдоль перпендикулярных — различны. Отсюда оказалось возможным построение поверхностей физических свойств кристаллов, характеризующих их значения по различным кристаллографическим направлениям.

Второй раздел книги посвящен методам выращивания кристаллов. Здесь А. В. Шубников впервые дал

систематизированное представление о методах выращивания. Он разделил известные к тому времени методы на две группы: методы кристаллизации из растворов и методы» кристаллизации из расплава.

Описанные А. В... Шубниковым методы кристаллизации из растворов практически не претерпели существенных изменений до настоящего времени. Несмотря; на значительный прогресс области создания и развития расплавленных методов кристаллизации, методы, описанные А. В. Шубниковым, составляют основу этого развития.

Третий раздел книги посвящен механизму роста кристаллов. В нем после рассмотрения природы* зарождения кристаллов и описания имевшегося экспериментального материала о влиянии внешних условий на кристаллизацию А. В. Шубников дал общие представления о молекулярно-кинетической теории роста, которую интенсивно развивали Коссель, Странский, Каишев и др.

Четвертый раздел книги посвящен внешней форме роста, растворения и равновесия. Исходя из понятия идеальной формы А. В. Шубников переходит к реальным формам„ их зависимости от внешних условий роста и растворения. При этом он совершенно четко разделяет два противоположно направленных процесса: рост и растворение кристалла.

Для данных условий роста существует бесконечное множество равновесных форм, обладающих разной, но близкой друг к другу степенью устойчивости. Согласно закону Браве, при росте кристаллов преимущественно возникают грани с наибольшей ретикулярной плотностью. А. В. Шубников, однако, подчеркивает, что форма кристалла определяется не только его строением, но и строением кристаллизационной среды. Именно в этой связи он рассматривал образование на кристалле ступенчатых форм, параллельных сростков, двойников, скелетных, скученных и скрученных форм. Определенное внимание А. В. Шубников уделяет видинальным граням и вициналоидам. По его мнению, причина их образования связана с явлением расщепления кристаллов.

В настоящее время мир кристаллов в значительной степени расширился за счет особого класса веществ — жидких кристаллов. За многие десятилетия до их широкого применения,.А. В. Шубников предсказал их важное практическое значение и дал достаточно полное описание. Он отметил, что жидкие кристаллы обладают свойствами кристаллов .(они «плавятся», переходя в обыкновенную изотропную жидкость при строго определенной температуре; обладают двойным лучепреломлением, могут иметь свою особую форму, могут

давать с кристаллами закономерные сростки) и свойствами жидкости (они не тверды, не имеют структуры кристаллической решетки, для них несправедливы законы целых чисел, постоянства углов и т. д.). А. В. Шубников систематизировал различные фазовые состояния (стазы) жидких кристаллов. Он выделил четыре такие стазы, различающиеся степенью ориентированного расположения молекул.

В пятом разделе, посвященном структурам роста, А. В. Шубников дал полное описание морфологических особенностей кристаллов, их реального строения; зонарной структуры, пирамид роста и механических включений, причем возникновение этих особенностей связал с условиями роста и наличием примесей.

Проявлением морфологических особенностей процесса роста является образование сферолитов, винтовых структур и колец Лизеганга. Сферолит — система, состоящая из отдельных удлиненных кристалликов или хорошо различимых монокристаллических волокон, расположенных радиально вокруг одного центра, и по внешней форме приближающаяся к шару. Чаще всего сферолиты образуются в вязкой среде. Винтовые структуры появляются при закручивании кристаллов во время роста, особенно при добавлении определенных веществ. Кольца Лизеганга — это периодические структуры, образующиеся при взаимодействии двух веществ, дающих в результате химического взаимодействия вещество, выпадающее в осадок.

Шестой раздел книги посвящен влиянию условий роста на форму и величину кристаллов. А. В. Шубников обращает особое внимание на необходимость создания условий роста при постоянном пересыщении раствора. Для этого подробно рассматривается характер концентрационных потоков вблизи растущего кристалла.

Седьмой раздел посвящен соотношению между симметрией кристаллов и явлениями роста и растворения. Пользуясь принципом Неймана, А. В. Шубников рассмотрел симметрию кристаллизационной среды во взаимодействии с симметрией растущего кристалла. Он отметил роль естественной симметрии и наведенной, обусловленной внешними причинами. Взаимодействие симметрий внешней среды и кристалла сказывается прежде всего на его внешней форме. Сохраняются элементы симметрии, являющиеся общими для среды и для идеального кристаллического многогранника. Убедительным примером служат фигуры травления, симметрия которых определяется не только симметрией кристалла, но и симметрией травителя.

Монография А. В. Шубникова [86] сыграла выдающуюся роль в становлении и развитии науки о кристаллах и их практическом выращивании. С одной стороны, она ставит перед исследователем основные проблемы роста кристаллов и этим вводит читателя в мир кристаллов, а с другой — учит тому, как растить кристаллы. В этой монографии в исключительно доступной форме даны все необходимые представления о росте и выращивании монокристаллов.

Глава 12
А. В. Шубников — инициатор и организатор промышленности пьезокристаллов в СССР

В своей научной и практической деятельности большое внимание А. В. Шубников уделял пьезоэлектричеству и его практическому использованию. Он первым оценил значение для радиотехники кварцевого резонатора. Уже в 20-х годах начала остро ощущаться необходимость стабилизации частоты радиостанций, так как при приеме возникали взаимные помехи. В 1921 г. У. Кэди были предложены кварцевые резонаторы как стабилизаторы частоты радиотехнических генераторов, после чего их начали интенсивно изучать и практически использовать. Производство кварцевых резонаторов затруднялось тем, что свойства и особенности природных кристаллов кварца, а также техника их обработки не были известны работникам радиотехнической промышленности.

Как уже было сказано, в Ленинграде при Минералогическом музее АН СССР А. В. Шубников организовал кварцевую лабораторию, в которой изучались особенности кварцевого сырья и технология его обработки. Эта лаборатория изготовляла кварцевые резонаторы и другие кварцевые препараты, в том числе и оптические, обеспечивая потребности многочисленных заказчиков. После пяти лет работы результаты исследований были обобщены А. В. Шубниковым и его сотрудниками [58]. Это «Руководство» было написано в присущем Алексею Васильевичу лаконичном стиле. Однако оно содержало все необходимые сведения, начиная с описания кристаллофизических характеристик и морфологических особенностей кварца и кончая подробным перечнем материалов, инструмента и инвентаря, необходимых для оборудования кварцевой лаборатории. Особенно ценными были описания методов определения осей кристалла и ориентирования срезов для случаев, когда внешняя огранка была частичной или полностью отсутствовала. Были описаны приборы и приспособления для реализации этих методов, а также ценные сведения по распиловке кристаллов, шлифовке и полировке пластин. Описывались способы затравки пил алмазом, очистки и классификации абразивных порошков, окончательной шлифовки, «оживления» кварцевых пластин при возбуждении и настройке их частоты. Вскоре это «Руководство»

стало библиографической редкостью.

Продолжая работы в этом направлении, А. В. Шубников и его сотрудники дополняли и уточняли руководство, публикуя статьи практического назначения, например об определении осей в гальке кварца, о фигурах удара, давления и травления кварца [30, 56, 57, 72]. До сих пор не потеряли своего назначения и работы о процессах шлифовки и полировки камня [27, 92, 100, 126].

Работы по изучению пьезокварца были существенно расширены в связи с организацией Центральной научно-исследовательской лаборатории (ЦНИЛ) Треста № 13 НКЭП (Народного комиссариата электропромышленности) в Москве. Трест № 13 занимался разведкой и добычей минерального сырья для электропромышленности, в том числе и оптических кристаллов и пьезокварца. По инициативе А. В. Шубникова при этом тресте в 1937 г. была создана лаборатория прикладной кристаллографии, занимавшаяся изучением природного кристаллического сырья, разработкой методов его рационального использования и обработки. Одновременно в ней велись работы по выращиванию монокристаллов кварца и сегнетовой соли, имеющие важное прикладное значение. Планировались работы по выращиванию кристаллов алмаза. Для размещения ЦНИЛ Алексей Васильевич предоставил часть помещений Кристаллографической лаборатории. Тесные контакты сотрудников ЦНИЛ с учеными лаборатории были чрезвычайно полезны как инженерам- практикам, так как они способствовали росту их квалификации, так и ученым-кристаллографам, поскольку своевременно ставили перед ними вопросы, имевшие важное практическое значение и требовавшие быстрого разрешения. Некоторые из сотрудников Кристаллографической лаборатории выступали в качестве руководителей научных тем ЦНИЛ (Г. Г. Леммлейн, Е. В. Цинзерлинг, Н. Н. Шефталь и др.).

В 1939 г. в ЦНИЛ поступил инженер П. Г. Поздняков и сразу получил от А. В. Шубникова задание разработать многочастотный пьезокварцевый излучатель. Прежде эта работа велась в лаборатории без заметных успехов и надежд на окончание в срок. Алексей Васильевич коротко пояснил задачи, предложил теоретически изучить проблему и через неделю представить свои соображения и план работы. П. Г. Поздняков был принят в так называемую радиогруппу, в которую кроме него входил еще один радиоинженер Н. В. Киселев, радиомонтажник и настройщик кварцев. Радиогруппа занималась исследованием характеристик резонаторов из кварца различного качества, влияния разного рода дефектов кристаллов, качества обработки, а также выполнением отдельных заказов на резонаторы.

К концу 30-х годов в Ленинграде, Москве, Горьком уже действовало несколько кварцевых цехов, в которых изготовлялось большое количество резонаторов. Работа налаживалась не без трудностей. Добывавшееся кварцевое сырье большей частью состояло из мелких кристаллов весом около 100 г. Кварцевые цехи нередко отказывались брать такие кристаллы «недомерки». Работа по использованию дефектного низкосортного и маломерного кварца проходила при непосредственном участии П. Г. Позднякова и Г. Г. Леммлейна, который во многих спорных случаях являлся главным экспертом по качеству кристаллов, и его мнение было решающим.

Характеризуя стиль работы А. В. Шубникова, нельзя не отметить его комплексный подход к решению проблемы пьезокварца. Он считал необходимым изучать кварцевое сырье различных месторождений, его особенности и характерные дефекты, создавать методы и приборы для объективной оценки качества кристаллов как сырья для производства резонаторов, разрабатывать методы рациональной разделки кристаллов и экономичной его обработки, а также оборудование и приспособления для их резки и шлифовки.

В 1940 г. вышла в свет книга А. В. Шубникова [133], содержавшая полные сведения о кварце как одной из модификаций кремнезема. Однако ее воспринимали преимущественно как книгу о пьезокварце, поскольку в ней описывались главным образом монокристаллы кварца, их морфологические особенности, тепловые, оптические, упругие и электрические свойства. Особенно подробны и полезны были сведения о дефектах кристаллов, технике травления, определении направлений кристаллографических осей и ориентировании срезов. В большой заключительной главе были приведены сведения о колебаниях кварцевых пластин, описаны срезы с малым температурным коэффициентом частоты, разновидности резонаторов и другие примеры использования пьезоэлектрических свойств кварца. К тому времени в мировой литературе были известны только три книги по пьезокварцу — А. Грамона, П. Вигуро и А. Шайбе. Книга А. В. Шубникова существенно отличалась от них своим более полным кристаллофизическим содержанием. Впервые в ней описывались морфологические особенности и дефекты реальных кристаллов, фигуры травления, удара и давления, методы ориентации кристаллов. Многое в ней было новым и до настоящего времени не потеряло своего значения. Эта книга оказала огромное влияние на формирование кадров кварцевиков. Выходу ее предшествовал выпуск конспекта лекций А. В. Шубникова по

пьезокварцу [120], прочитанных им для сотрудников ЦНИЛ. Этот конспект очень ценился «кварцевиками».

Осенью 1939 г. в ЦНИЛ пришел новый сотрудник студент-дипломник Московского института связи А. С. Шеин. Он был приглашен в группу Н. Н. Шефталя для организации работ по применению кристаллов сегнетовой соли, выращивание которых статическим методом к тому времени было уже достаточно освоено. Он был порывистым, настойчивым, страстно преданным своему делу человеком. Его энергия и работоспособность были удивительны. Он умел ими заражать всех сотрудников, вселяя веру в успех. Быстро обнаружились его недюжинные способности и склонности к научной и изобретательской деятельности. В короткий срок он разобрался в особенностях явлений пьезоэлектрического преобразования, технологии обработки растворимых кристаллов, что позволило ему оригинально решить вопросы создания высокочувствительных пьезоэлементов и повышения их надежности. Им были предложены способы металлизации пластин из сегнетовой соли, их сборки и защиты от механических воздействий и действия влаги. А. С. Шеиным были созданы образцы различных акустических приборов — телефонов, микрофонов, громкоговорителей, звукоснимателей. Демонстрации этих приборов, их высокие электрические и эксплуатационные характеристики вызывали интерес у представителей многих научных учреждений и промышленных предприятий. Его успехи во многом ускорили реализацию идеи А. В. Шубникова о создании настоящей промышленной фабрики кристаллов.

Вопрос об организации пьезотехнического завода начал широко обсуждаться в 1940 г. в связи с необходимостью выпуска изделий из кристаллов сегнетовой соли. А. В. Шубников настаивал на необходимости придать заводу более широкий профиль, расширив номенклатуру кристаллов.

Великая Отечественная война ускорила решение вопроса об организации на базе ЦНИЛ завода пьезоэлектрического профиля. Эвакуация из Москвы различных учреждений, в частности академических, решила вопрос о производственных помещениях. В сентябре 1941 г. завод был создан. В его распоряжение были переданы помещения Геолого-разведочного института АН СССР, эвакуированного в тыл. П. Г. Поздняков возглавил завод, а А. С. Шеин стал его главным инженером. С первых дней войны коллективы ЦНИЛ и Кристаллографической лаборатории активно включились в работы на оборону. Изготовлялись резонаторы для военных нужд, начались работы по организации производства кристаллов сегнетовой соли. Сотрудники активно взялись за

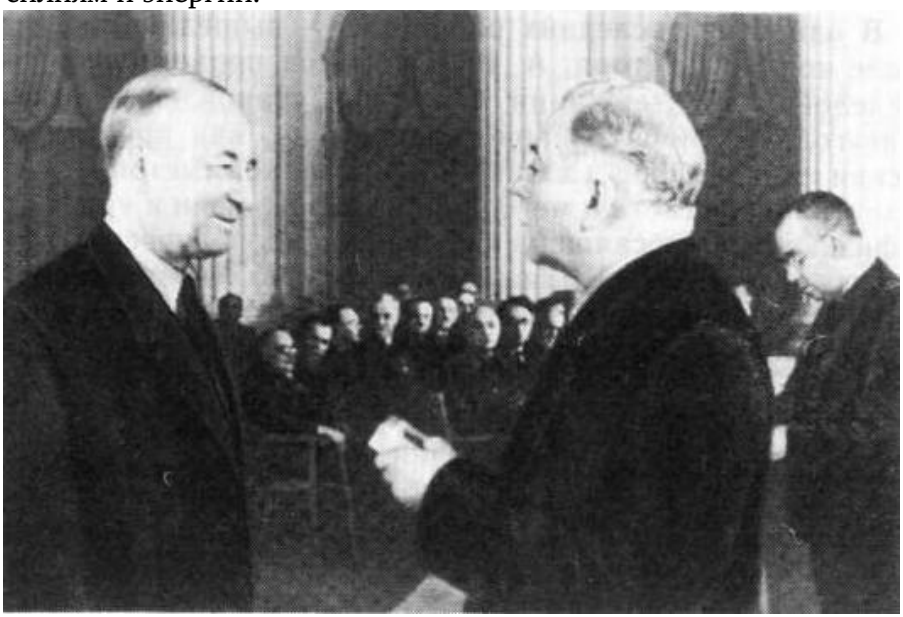
разработку изделий военного назначения. Одним из первых заданий явилась разработка пьезоэлектрического стетоскопа для обнаружения бомб замедленного действия с часовыми механизмами, которые фашисты начали применять при бомбардировке Москвы. Усилиями группы сотрудников за считанные дни был создан образец такого устройства, успешно выдержавшего все испытания. Образец был утвержден к выпуску и серийному изготовлению начиная с 1941 г. Организационных и хозяйственных забот было множество, если учесть, что завод создавался на базе небольшой, малочисленной лаборатории, а его руководителями были молодые люди, не имевшие хозяйственного опыта. Положение спасало то обстоятельство, что обращения в различные организации находили всегда всемерную поддержку, поскольку дело касалось обороны страны. В это время советы А. В. Шубникова по различным техническим и организационным вопросам были особенно нужны и вселяли веру в собственные силы. Решения нужно было принимать быстро, нередко с большим риском. Наряду с организацией цеха выращивания кристаллов статическим методом велась работа по созданию опытной установки выращивания кристаллов динамическим методом, разработанным Б. В. Витовским и Г. Ф. Добржанским. Ее проектирование и изготовление велось собственными силами. К концу года установка была закончена, налажена и в феврале 1942 г. выдала первую продукцию. Для статического выращивания требовались водяные термостаты в виде металлических ванн с толстым слоем теплоизоляции. Изготовить их быстро оказалось невозможным. А. В. Шубников поддержал предложение П. Г. Позднякова об изготовлении деревянных термостатов. Одна из московских бондарных артелей за неделю изготовила по эскизам нужную партию деревянных термостатов. Первые образцы этих термостатов оснащались и устанавливались в помещениях Ломоносовского института. Уже в ноябре 1941 г. завод дал первую продукцию.

После войны завод переживал трудные времена. Требовалось переходить на мирную продукцию, а главное — нужно было освобождать временно занимаемые помещения. В связи с этим были тенденции закрыть завод. Однако к этому времени его коллективу удалось вырастить новые пьезокристаллы для акустики и радиотехники. Вопрос о ликвидации отпал. Более того, в 1950 г. завод был реорганизован в Центральную научно-исследовательскую лабораторию пьезотехники (ЦНИЛП) с опытным заводом, позже ставшую ядром, вокруг которого возникло целое объединение предприятий пьезотехнического профиля. Кстати, термин «пьезотехника» был предложен А. С.

Шеиным еще в 1941 г. Успехам в росте новых пьезокристаллов завод, а позже ЦНИЛП, во многом был обязан А. А. Штернбергу. Им сначала были выращены кристаллы фосфатов аммония и калия, нашедшие применение в различных акустических приборах. Затем были разработаны способы выращивания кристаллов виннокислых солей калия и этилендиамина. Процессы роста кристаллов сегнетовой соли и фосфата аммония были доведены до совершенства. Огромный однородный кристалл сегнетовой соли весом около 25 кг, выращенный Н. Н. Васильевым, был подарен А. В. Шубникову в день его 80-летия.

В 1952 г. в ЦНИЛП в трехлитровых автоклавах были выращены первые кристаллы кварца на затравках АТ-среза. Их испытания подтвердили идентичность характеристик природного и искусственного кварца. Вскоре Министерством геологии был создан Всесоюзный научно-исследовательский институт синтеза минерального сырья (ВНИИСИМС), основной задачей которого была разработка промышленных методов выращивания кристаллов кварца, в первую очередь пьезокварца. ВНИИСИМС был организован на базе небольшой группы сотрудников ЦНИЛП, возглавляемой А. В. Симоновым. Институт пополнялся способными молодыми специалистами, выпускниками МГУ (Л. И. Цинобер, В. Е. Хаджи, Л. А. Гордиенко и др.), которые уже в 1955 г. успешно решили задачу промышленного выращивания кварца.

А. В. Шубников постоянно интересовался развитием работ на всех этих предприятиях, которые были созданы благодаря его усилиям и энергии.



К. Е. Ворошилов вручает А. В. Шубникову орден Ленина.

Глава 13
Взгляды А. В. Шубникова на кристаллографию и пути ее развития

Академик А. В. Шубников был крупнейшим кристаллографом нашего времени, создателем научной школы советских кристаллографов. Его научные труды и неутомимая организаторская деятельность сформировали советскую кристаллографию, придали ей современную организационную структуру, вооружили фундаментальными научными идеями, которыми она руководствуется и до сих пор.

В богатейшем научном наследии А. В. Шубникова особый интерес представляют его историко-методологические работы о становлении предмета и метода кристаллографии, о путях ее развития.

В одной из последних работ [343], вышедшей в свет после кончины автора, А. В. Шубников провел глубокое исследование содержания и истории становления таких краеугольных понятий кристаллографии, как кристаллический индивид, кристаллическая среда и симметрия.[* Копцик В. Л. Взгляды Алексея Васильевича Шубникова на кристаллографию и кристаллофизику. — Кристаллография, 1977, т. 22, вып. 3, с. 661—670.] Определению предмета и метода кристаллографии и кристаллофизики была посвящена и серия энциклопедических словарных статей А. В. Шубникова [188, 272]. С определения начинался и знаменитый учебник трех авторов [134], в котором впервые был сформулирован предмет кристаллографии.

«Предмет кристаллографии. Кристаллография занимается изучением многообразия кристаллов, как ботаника, зоология и химия изучают многообразие растений, животных и химических соединений. Стремясь к установлению общих законов многообразия кристаллов, к выявлению признаков единства в этом многообразии, кристаллография исследует конкретно: 1) свойства одиночных кристаллов и кристаллических агрегатов различных веществ, 2) явления, протекающие в кристаллической среде, 3) взаимодействие между кристаллом и окружающей средой, 4) изменения, претерпеваемые кристаллом под влиянием тех или иных воздействий...

Метод кристаллографии. Для своего развития кристаллография пользуется диалектическим методом, общим

для всех наук и специфическим для каждой из них. Главнейшим свойством всякого кристалла, как представителя всего многообразия кристаллов, является симметрия. Симметрия проявляется во внешней форме кристалла, в его структуре, в физических явлениях, протекающих в кристаллах, во взаимодействии кристалла и окружающей среды, в изменениях, претерпеваемых кристаллом под влиянием внешних воздействий. Особенность кристаллографического метода состоит в последовательном применении принципа симметрии во всех случаях, когда это оказывается возможным... Благодаря широкому применению принципа симметрии кристаллография занимает положение самостоятельной науки, связанной с другими частичным совпадением задач и предмета исследований в конкретных вопросах.

Положение кристаллографии среди других наук. Отношение кристаллографии к другим наукам может быть в грубых чертах изображено следующей схемой:

Связь кристаллографии с математикой имеет односторонний характер: кристаллография многое заимствует из математики, в свою очередь не оказывая заметного влияния на развитие последней. Более тесно связана кристаллография с физикой и химией. Эта связь имеет двусторонний характер: от физики кристаллография получает больше, чем ей дает; от химии, наоборот, получает меньше, чем ей дает. Связь кристаллографии с минералогией, петрографией и металлографией опять имеет односторонний характер: этим наукам кристаллография дает несравненно больше, чем от них получает. Разумеется, что перечисленными шестью науками не исчерпывается список дисциплин, имеющих то или иное отношение к* кристаллографии. В последнее время все больше и больше крепнет связь кристаллографии с техникой» [134, с. 5, 6].

К волновавшим его мыслям А. В. Шубников возвращался не раз, обогащая формулировки новым содержанием, акцентами или нюансами, придавая им все большую отточенность и глубину [188, 272].

Три десятилетия назад А. В. Шубниковым прозорливо были намечены связи кристаллографии с биологией и раздвинуты ее рамки в сторону исследования дефектных и кристаллоподобных структур. Сегодня можно констатировать, что это предвидение А. В. Шубникова полностью сбылось.

Особый интерес представляют взгляды А. В. Шубникова на взаимоотношения кристаллографии с физикой и на предмет физической части кристаллографии — кристаллофизики.

«Кристаллофизика — отрасль молекулярной физики, исследующая закономерности физических явлений в кристаллах, связанных с внутренней симметрией кристаллов и их дискретной атомной структурой...

Раздел физики, который исследует природу кристаллических сил, явление пластической деформации, прочности, и двойникования в кристаллах, поверхностную энергию и адсорбцию кристаллов, магнитные свойства кристаллов, спектроскопию, люминесценцию и фотохимические явления в кристаллах, сверхпроводимость, ферромагнетизм, пиро- и пьезоэлектричество, сегнетоэлектричество и т. п., обычно называют физикой кристаллов (см.). Изучение оптических свойств кристаллов — их двойного лучепреломления, вращения плоскости поляризации, коэффициента поглощения — выделяется| в специальный раздел кристаллофизики — кристаллооптику» [188, с. 418].

«Физика кристаллов — раздел молекулярной физики, в котором изучаются свойства кристаллов и происходящие в них процессы и явления, связанные со строением кристаллов в виде решетки из ионов, атомов или молекул. Физика кристаллов тесно связана с такими науками как кристаллография, кристаллохимия и др. Некоторые разделы физики кристаллов настолько развились, что выделились в самостоятельные разделы'физики, например ферромагнетизм, сегнетоэлектричество, пьезоэлектричество, металлофизика и др...».[* Физика кристаллов. — БСЭ, 2-е изд., т. 45, с. 16, 17.]

Взгляды А. В. Шубникова на кристаллографию и кристаллофизику разделялись многими выдающимися учеными — его современниками. Из его высказываний следует, например, что кристаллофизика, являясь общей частью кристаллографии и молекулярной физики (уже физики твердого тела), входит в состав обеих наук. Однако кристаллография в целом не сливается с физикой или ее частью — физикой твердого тела.

Настаивая на самостоятельности кристаллографии как науки, А. В. Шубников занимал в этом вопросе более широкую и правильную позицию, чем его учитель Г. В. Вульф, который

считал, что «кристаллография представляет из себя главу физики и содержит в себе учение о твердом теле как о некоторой среде». [** Вульф Г. В. Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М.: Наука, 1952. 342 с.] Такую же широкую шубниковскую позицию о несводимости кристаллографии к одной из своих «вершин» занимают академики Н. В. Белов и 'Б. К. Вайнштейн.[*** Вайнштейн Б. К. Современная кристаллография. М.: Наука, 1979, т. 1, с. 6—8.]

«Часто науку кристаллографию, — пишет Н. В. Белов, — изображают кружком внутри треугольника, вершинами которого служат фигуративные точки, символизирующие физику, химию и минералогию. Долгое время кристаллография в основном была тесно связана с минералогической вершиной, но сейчас нередко можно встретиться с утверждением о резком смещении кристаллографии в направлении физической вершины. Так ли это? Несомненно, что представление о кристалличности вещества лежит в основании физики твердого тела; это, в частности, относится к фундаментальным кристаллографическим представлениям о решеточной природе кристаллов, об их симметрии с результирующим разделением всех кристаллов по их точечной (макро) симметрии на 32 класса, по микросимметрии на 230 федоровских групп. Именно у физиков развилось и вылилось в реальные конкретные формы учение о плюс—минус или черно-белой (анти) симметрии. Еще раньше-физики подчинили кристаллографическим законам всю металлофизику. И все же это не та кристаллография, которая гордится двухсотлетней историей...

Вот уже полвека существует (рентгенографический) анализ атомной структуры кристаллов с результатами, исключительно ценными для кристаллографа и минералога, но мало используемыми в физике твердого тела, хотя несомненно, что рентгенографический анализ создан физиками и им уже принадлежит все то, что относится к методике эксперимента, к приемам его наиболее полного использования. И тем не менее самими результатами своих анализов, обычно уходящими во вне, физик, как правило, мало интересуется... Це отдельные кристаллы, а всю совокупность их... видит перед собой классически воспитанный на минералогии кристаллограф. Он обязан хорошо разбираться в созданных отчасти для него физиками методах съемки кристаллов, расшифровки и т. д., но, конечно, хозяином в составлении курса кристаллографии должен быть он, кристаллограф-минералог».[* Белов Н. В. Предисловие к книге И. Костова «Кристаллография». М.: Мир, 1965, с. 5.]

Об опасности посягательства смежных дисциплин на самостоятельность кристаллографии предупреждал и А. В. Шубников во вступительной речи на открытии 7-й Генеральной ассамблеи Международного союза кристаллографов 27 августа 1966 г. в Москве. «Кристаллография,— сказал он,— взяла от физики многое, но сейчас существует реальная опасность, что физика твердого тела поглотит кристаллографию». В этой связи следует привести письмо А. В. Шубникова, направленное 16 февраля 1969 г. профессору В. А. Франк-Каменецкому, который выражал сожаление об отходе кристаллографии от «каменных» наук. Это письмо было оглашено В. А. Франк- Каменецким на Федоровской кристаллографической сессии в Ленинграде 19 мая 1977 г. «Что бы там ни было, я очень жалею, особенно сейчас, что в свое время так решительно отмежевался от минералогии и минералогической кристаллографии. Было бы, пожалуй, наиболее целесообразным подумать о создании и укреплении химической кристаллографии, поскольку физическая кристаллография в некоторой степени отмежевалась от кристаллографии благодаря новому направлению — „физике твердого тела“».[* Личный архив А. В. Шубникова.]

Тревога, которая чувствуется в приведенных выше строках, вполне объяснима: в последний год жизни А. В. Шубников тяжело болел, и его глубоко беспокоили судьбы кристаллографии, ее целостность и пути ее дальнейшего развития. Из письма вовсе не следует, что под конец жизни А. В. Шубников отказался от своих прежних взглядов о самостоятельном положении кристаллографии в ряду окружающих ее наук. А. В. Шубников был материалистом-диалектиком. Он. понимал, что его классификационная «кристаллоцентрическая» схема, как и всякая схема, условна и представляет лишь одно звено из всеобщей связи. Для физики, химии, математики и т. д. кристаллография является сопутствующей наукой. Но для кристаллографии физика, химия, математика, минералогия, а теперь и биология являются теми источниками, которые она использует в своих собственных целях, не растворяясь в каком-либо одном из них. Именно в междисциплинарном характере кристаллографии и ее положении на стыке фундаментальных наук — сила этой науки и залог ее плодотворного развития.

Современная кристаллография во многом отличается от той, какой она была в прошлом веке и даже в первой половине XX в. В наши дни объектом исследования кристаллографии наряду с классическими являются также и частично упорядоченные структуры (кристаллы с дефектами, композитные материалы, жидкие и биологические кристаллы, текстуры и полимеры).

Новые мощные методы воздействия на вещество (высокие плотности радиации, давления электрического и магнитного полей, сверхнизкие температуры) вызвали к практической жизни нелинейную кристаллофизику с ее многочисленными новыми эффектами. На практическую почву становится центральная проблема кристаллографии — проблема предсказания, программированного синтеза необходимых свойств и управления этими свойствами в соответствующих структурах твердого тела.

Техническая революция в структурном анализе кристаллов, связанная с успехами «прямых» методов, автоматизацией структурного эксперимента и появлением радиоспектроскопических методов исследования тонкой полевой (в отношении физического и магнитного полей) структуры кристаллов, акцентировала в современной кристаллографии структурный аспект. Это дало повод для следующего определения кристаллографии, широко распространенного на Западе: «Кристаллография — это область науки, в задачи которой входит описание и понимание структуры и свойств конденсированных состояний вещества и их связи с пространственными соотношениями атомов и межатомных сил». [* Crystallographic bock list: International Union of Crystallography. — Comis. on crystallographic teaching, Cambr., 1965, vol. 12, 83, p. 25.]

Соответствующие изменения происходят и в теоретическом вооружении кристаллографии. Современная теория симметрии, например, становится теорией (цветной) симметрии частично упорядоченных структур и наряду с теоретико-групповыми использует также более общие (негрупповые) методы. Теоретическая кристаллофизика сейчас включает в себя не только феноменологический (тензорный) уровень описания кристаллофизических эффектов, но и уровень объяснения этих эффектов с позиций современных микроскопических теорий, базирующихся на динамике решетки, теории электронной структуры кристаллов в квантовомеханической теории взаимодействия излучений с веществом.

Изменилось ли вследствие вышесказанного лицо современной кристаллографии? Несомненно, да! Произошло ли при этом слияние кристаллографии с физикой твердого тела? Разумеется, нет! Шубниковская схема разделения и диалектического единства физической, химической и математической кристаллографии осталась неизменной. Для понимания кристаллографии как «одной из областей современной физики твердого тела» [* Политехнический словарь, М.: Сов. энциклопедия, 1977, с. 241.] нет никаких оснований, хотя

связи обеих дисциплин органичны и плодотворны.

Одним из свидетельств самостоятельности и зрелости этой древней и всегда новой науки является выход в свет «Современной кристаллографии»[** Современная кристаллография: В 4-х томах. Вайнштейн Б. /С. Симметрия кристаллов: Методы структурной кристаллографии. М.: Наука, 1979. 383 с.; Т. 2. Вайнштейн Б. КФридкин В. М., Инденбом В. Л. Структура кристаллов. М.: Наука, 1979. 359 с.; Т. 3. Чернов А. А., Гиваргизов Е. И., Багдасаров Х. С. и др. Образование кристаллов. М.: Наука, 1980. 407 с.; Т. 4. Шувалов Л. А. Физические свойства кристаллов. М.: Наука. 1981. 450 с.] под редакцией академика Б. К. Вайнштейна, которая для всех кристаллографов стала крупным научным событием. Изучение этого руководства позволяет заглянуть в сегодняшний день кристаллографии и оценить по достоинству преемственность ее содержания и великую жизненную силу шубниковских идей, предопределивший на десятилетия вперед исторические пути развития этой науки.

Существует неразрывная связь и взаимопроникновение методов фундаментальных наук в рамках выделенной конкретной области знаний, в данном случае — кристаллографии. Математические методы (теория групп, тензорная алгебра и анализ, уравнения математической физики, математическое моделирование, ЭВМ и т. д.) пронизывают все содержание современной кристаллографии, которая допускает математическую формализацию, но от этого ни кристаллография, ни математика не теряют своего собственного лица. То же самое можно сказать о взаимоотношениях кристаллографии с физикой и химией. Экспериментальные и теоретические методы физики (структурный — дифракционный и резонансный — анализ, зонная теория твердого тела, динамическая теория кристаллической решетки, квантовая физика, термодинамика, статистика и кинетика и т. д.)— необходимые компоненты современного кристаллографического исследования. Методы химического анализа и синтеза позволяют современной кристаллографии проводить свои исследования в значительной мере на синтетических кристаллах; в зависимости от их состава, реальной атомной структуры, внутренней морфологии и условий образования удается проектировать и создавать материалы, необходимые для применений в современной науке и технике.

Идеи А. В. Шубникова в современной кристаллографии живут и помогают правильно решать злободневные вопросы планирования науки и подготовки высококвалифицированных кадров.

Глава 14
Труды по истории кристаллографии

Предельная ясность, четкость и непогрешимая логичность изложения характеризуют все печатные работы А. В. Шубникова. Самые сложные, сугубо специальные темы под его пером становились понятными и доступными даже для читателей, стоявших в стороне от науки. Этому способствовало то, что, касаясь, казалось бы, узконаучного вопроса, Алексей Васильевич всегда умел приходить к широко обобщающем и глубоким выводам, намечавшим далекие перспективы для затронутой проблемы. Отсюда ясно, что выделять в его творчестве собственно научно-популярные работы чрезвычайно трудно, а вернее,— просто невозможно. В каждой из них обязательно присутствуют собственные оригинальные достижения автора, изложенные исключительно просто и вместе с тем строго научно. В качестве примера приведем две книги, давно уже ставшие классическими настольными пособиями для специалистов и в то же время написанными популярно для широкого круга читателей. Речь идет о детально разобранных в предыдущих главах двух знаменитых монографиях А. В. Шубникова [80, 132]. Без преувеличения можно сказать, что все современные кристаллографы-ростовики и теоретики-симметристы начали свой путь с изучения этих книг и применения в научной практике сформулированных в них положений.

Книги эти не утратили своей жизненности и в настоящее время: сегодняшняя молодежь изучает их с таким же увлечением, как и их предшественники сорок с лишним лет тому назад. Книга о симметрии уже после смерти А. В. Шубникова вышла вторым, существенно дополненным, изданием.

Широкой популярностью пользовалась книга [134], написанная А. В. Шубниковым в соавторстве с Е. Е. Флинтом и Г. Б. Бокием. Новаторский подход к изложению начал науки о кристаллах, обилие свежего и оригинального материала создали этой книге громкую известность. Здесь нет возможности дать детальный анализ многочисленных и разнообразных публикаций ученого по различным вопросам кристаллографии, физики, симметрии, обобщающих высказываний по истории науки и философии, дискуссионных выступлений, критических заметок, воспоминаний и др. Сама широта и неограниченность тематики наглядно свидетельствует об огромном диапазоне интересов ученого. Некоторое понятие о содержании этих работ можно

получить с помощью библиографического списка опубликованных трудов А. В. Шубникова.

Особую ценность представляют публикации, посвященные истории науки, в частности кристаллографии. Закономерности развития науки о кристаллах всегда особо интересовали Алексея Васильевича и находили отражение в ряде его блестящих работ.

Выдающиеся корифеи нашей науки В. И. Вернадский, П. Грот, М. Лауэ и наконец А. В. Шубников с особой любовью и интересом обращались к истории кристаллографии, стремясь выявить закономерности ее развития, эволюцию основополагающих идей, истоки важнейших открытий и обобщений. Мало того, знакомство с забытыми трудами старинных ученых иногда давало неожиданный толчок для развития новых научных направлений. Особенно ярко иллюстрируется сказанное на примере творчества акад. В. И. Вернадского. Развивая свои грандиозные обобщения в области геохимии, биогеохимии и минералогии, В. И. Вернадский неизменно проводил углубленные экскурсии в прошлое науки. С душевной теплотой и любовью упоминаются им даже малозаметные предшественники направлений, воплотившихся в его творчестве. Для кристаллографов особый интерес представляет чудесный очерк развития кристаллографии, которым открываются «Основы кристаллографии» В. И. Вернадского (1904 г.). Следует, однако, заметить, что наш великий натуралист, вводя старые концепции в единый и мощный идейный поток, возглавлявшийся им самим, нередко приписывал прежним ученым открытия и высказывания, которые он сам стремился увидеть в их творениях.

Совсем по-иному подходил к прошлому кристаллографии А. В. Шубников. Отнюдь не приписывая ученым прошлого новейших идей, он с его исключительно логическим и ясным умом всегда умел так подойти к творческим достижениям ученых, что совершенно неожиданно для нас открывались новые стороны, не замеченные прежде грани их творчества.

Хотелось бы найти истоки интереса А. В. Шубникова к истории кристаллографии. Думается, что ключ к этому вопросу содержится в его последней прижизненной публикации [342]. С чудесной и тонкой иронией повествует Алексей Васильевич о своих первой и последней встречах с Е. С. Федоровым. Инцидент, описанный в статье, состоял в следующем. В 1918 г. молодой А. В. Шубников вместе с О. М. Шубниковой и своим учителем Ю. В. Вульфом посетили Евграфа Степановича. По независящим от них обстоятельствам они приехали с опозданием и были весьма сурово встречены Е. С. Федоровым, который в течение двухчасовой беседы держал своих гостей в передней и даже не

предложил им сесть. Объяснение такому странному приему кроется в том, что между Е. С. Федоровым и Ю. В. Вульфом были натянутые отношения, связанные с какими-то давнишними научными спорами. На следующий же день Евграф Степанович принял одних Шубниковых, причем, по словам Алексея Васильевича, «Е. С. был с нами очень любезен». Думается, что этот исторический момент, запомнившийся А. В. Шубникову на всю жизнь, отчасти содержит ключ к объяснению его интереса к истории кристаллографии. Ведь на его глазах скрестились великое прошлое классической кристаллографии ц лице Е. С. Федорова, ее настоящее в лице Ю. В. Вульфа и, наконец, ее будущее в лице А. В. Шубникова.

Обратимся к рассмотрению некоторых характерных высказываний А. В. Шубникова относительно особенностей подхода к истории науки. Несколько раз из уст самого Алексея Васильевича приходилось слышать высказывания о том, что историю науки, в частности кристаллографии, следует начинать с сегодняшнего дня, развивая ее от настоящего времени в глубь времен. Это парадоксальное высказывание совпадает с остроумным советом писателя В. Шкловского, согласно которому «Надо писать о прошлом, не вставляя себя сегодняшнего в прошлое, но видя прошлое из сегодняшнего дня». Думается, что именно так и поступал А. В. Шубников, и именно такой подход позволял ему открывать новое в творчестве прежних ученых.

В качестве примера остановимся на раннем высказывании А. В. Шубникова, касающемся Н. Стенона и его закона постоянства углов. «Наблюдая бесконечное разнообразие форм кристаллов кварца, Стеной нашел общее их свойство — сохранять величины гранных углов», — писал автор. Однако далее он подчеркивал, что «хотя в этом открытии отнюдь не содержится утверждения, что внешняя форма кристаллов не подчиняется каким-либо другим законам, все дальнейшее развитие научной кристаллографии пошло по пути полного игнорирования таких законов». Вслед за этим формулируется сущность нового направления в науке о кристаллах: «Форма кристалла есть функция не только его строения, но и свойств среды, из которого он растет» [29, с. 363].

Следует подчеркнуть фразу о том, что в открытии Стенона не содержится утверждения об единственности его закона. Сейчас, имея под рукой полный перевод трактата Стенона, мы знаем, что этот старинный ученый отнюдь не ограничивался своим законом, которому, кстати сказать, не придавал особого значения, рассматривая его как результат послойного нарастания граней. Стеной, как бы предвосхищая А. В. Шубникова, уже писал о том,

что «путем исследования окружающих камней (горных пород) можно раскрыть много таких фактов, которые напрасно пытались обнаружить на основании исследования самих минералов».[* Стеноп Н. О твердом, естественно содержащемся в твердом. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957, с. 35.]

Исключительный интерес представляют статьи, в которых А. В. Шубников стремился наметить основные черты , развития науки о кристаллах. В этом отношении особенно значительной является статья [64], в которой автор противопоставляет развитие физики развитию химии и кристаллографии. Физика шла от теории непрерывного строения материи к атомистической теории и последующему синтезу обеих теорий. Кристаллография, примыкая и к физике, и к химии, с момента своего зарождения шла некоторое время по двойственному пути, исходя и из атомистической теории и из теории непрерывного строения материи. Однако в основном путь ее начинался с атомистики (в первом собственно кристаллографическом трактате в 1611 г. И. Кеплер объяснял шестиугольность снежинок геометрией плотнейших шаровых упаковок). До него в середине XVI столетия Джироламо Кардано также связывал шестигранность кварцевых призм с шаровыми укладками.

В отношении обобщающих идей, относящихся к истории кристаллографии, первостепенное значение имеет статья А. В. Шубникова [102], в которой Алексей Васильевич показывает, как постепенно «биологический» подход в кристаллографии с выдвижением «кристалла-индивидуума» уступал место физическому подходу с упором на «кристаллическую среду». В своей статье он пишет: «Развитие кристаллографии с самого ее возникновения было направлено в сторону укрепления понятия кристаллической среды и ни в коей мере не способствовало сохранению понятия кристаллического индивидуума: «Однако в последнее время в самой кристаллографии возникло такое течение, которое заставляет нас сохранить этот термин, вкладывая в него новое, отнюдь не биологическое содержание... перемещение интереса ученых от идеальных кристаллов к реальным и есть то новое направление, которое заставляет нас вернуться к устаревшему было термину кристаллический индивидуум» [102, с. 101]. Эти слова А. В. Шубникова поражают своей прозорливостью и в наши дни. Они предвещают наступление, как сказал Н. В. Белов, «второй мощной революции в нашей науке», революции, совершившейся в конце 50-х—начале 60-х годов и вызвавшей «смещение интереса в сторону макрокрнсталла, и притом достаточно крупного».[* Белов Н. В. Предисловие, — В кн.: Козлова О. Г. Рост и морфология

кристаллов. М.: МГУ, 1972, с. 5, 6.]

Непреходящую ценность имеют публикации А. В. Шубникова, посвященные достижениям отдельных выдающихся творцов в области кристаллографии. На первом месте здесь следует поставить статью [219], по-настоящему открывшую нам П. Кюри как кристаллографа и творца универсального принципа симметрии-диссимметрии. Именно А. В. Шубников показал значение семи точечных предельных групп симметрии с осями бесконечного порядка. Именно ему принадлежат нагляднейшие изображения этих групп в виде снабженных стрелками конусов, цилиндров и шаров, вошедшие во все новейшие публикации о природной симметрии. После разъяснений А. В. Шубникова стало ясным, что симметрию любых кристаллообразующих сред всегда можно подвести к производным семи предельных групп Кюри. Лишь после статьи А. В. Шубникова необычайно краткие формулировки Кюри стали доходить до сознания читателей. Такую же ясность придал Алексей Васильевич принципу симметрии-диссимметрии Кюри, долгое время остававшемуся как бы засекреченным, несмотря на выступления М. Кюри и В. И. Вернадского, усиленно подчеркивавших всеобъемлющее (глобальное и даже космическое) значение этого принципа. После статьи А. В. Шубникова появился целый поток литературы, посвященной принципу симметрии-диссимметции в природе.

Незабываемо яркие и глубокие характеристики дал А. В. Шубников в статьях-воспоминаниях о своем любимом учителе Ю. В. Вульфе и старшем товарище по университету и Академии А. Е. Ферсмане. Нельзя отказать себе в удовольствии и не вспомнить дышащие- жизнью чудесные строки Алексея Васильевича, посвященные этим двум замечательным ученым: «Вульф и Ферсман во многом отличались друг от друга. В то время как Ферсман обладал общительностью и живостью характера, широтой мысли, быстротой и смелостью в действиях, для Вульфа характерными были замкнутость, медлительность, ненаходчивость и осторожность в утверждениях. Слабые стороны обоих были иногда предметом иронических замечаний, которые делались ими по адресу друг друга. Однако эти замечания имели всегда легкий полушутливый тон. А. Е. Ферсман преувеличивал значение минералогии в кристаллографии; Вульф же, наоборот, преуменьшал, считая кристаллографию частью физики, а минералогию — частью химии, даже прикладной химии» [350, с. 519, 520].

С огромным интересом и вдумчивостью А. В. Шубников неоднократно возвращался к гигантской фигуре Е. С. Федорова, углубленно трактуя его структурно-геометрические выводы,

создавая новые подходы к ним и отчасти критикуя то, что казалось ему устаревшим. Он сравнивал Федорова с Декартом, «Рассуждения о методе» которого им тщательно изучались. Объяснение этой параллелизации кроется, очевидно, в следующей фразе из статьи Шубникова, посвященной 50-летик) со дня смерти Федорова: «Федоров был по преимуществу кристаллографом- геометром. Основным орудием его работы было умозрение, основанное на наблюдении (гониометрические и оптические измерения)...» [341, с. 391]. Высоко ценил А. В. Шубников и ранний философский трактат Е. С. Федорова «Перфекционизм».

Результаты своих раздумий и подходов к истории кристаллографии А. В. Шубников изложил в широко известной брошюре [343], вышедшей в свет уже после смерти автора. Здесь просматривается четкая линия изложения истории науки о кристаллах, отчасти намечавшаяся в прежних публикациях автора [33, 41, 70, 103, 132, 146, 151, 177, 199, 216, 341].

Дальнейшее развитие кристаллографии, согласно А. В. Шубникову, будет происходить по следующим двум руслам: 1) выращивание и применение искусственно выращенных кристаллов и изучение процесса их роста и свойств; 2) изучение атомной структуры кристалла.

В заключение приведем слова А. В. Шубникова, отражающие его взгляд на роль кристаллографии в современной науке: «...в настоящее время в нашей стране имеются все предпосылки для развития настоящей кристаллографии, науки самостоятельной в той мере, которая определяется своеобразием ее места среди других наук, в первую очередь наиболее близких ей: математики, физики, химии и каменнных наук» [341, с. 392].

Таким образом, кристаллография, по А. В. Шубникову, является вполне самостоятельной наукой, тесно связанной с математикой, физикой, химией и минералогией.

Воспоминания об А. В. Шубникове

Алексей Васильевич Шубников как человек

Я. И. Шубникова

В 1936 г. Алексей Васильевич Шубников руководил кристаллографическим сектором Ломоносовского института Академии наук СССР, в состав которого входили также петрографический, минералогический и геохимический секторы.

В кристаллографическом секторе сразу поражали строгий порядок, дисциплина, интерес к работе, дух равенства и товарищества, которые, казалась, были присущи всем без исключения сотрудникам сектора — и «большим» и «маленьким». Начальник сектора А. В. Шубников отличался большой требовательностью к сотрудникам, но проявлялась она не окриком, не грубостью и не выговорами. Он умел поставить дело так, чтобы каждый стремился выполнить свою работу наилучшим образом, проявляя максимум инициативы. Появляясь ежедневно в секторе ровно в 11 час., он обходил всех сотрудников на их рабочих местах, знакомился с ходом экспериментов и их результатами, с дальнейшими планами, с тем, какая литература прочитана, как прореферирована, что и как сделано в шлифовальной и механической мастерских, кто чем занят.

В шлифовальной мастерской изготовляли главным образом пьезокварцевые пластинки для нужд разных учреждений. От заказов на эти пластинки буквально не было отбоя. Работа кипела на всех станках. Шлифовали разнообразные пластинки, тщательно проверяли их, изготовляли кварцевые клинья, склеивали пьезоэлектрические мозаики. Алексей Васильевич часто надевал на белоснежную рубашку рабочий халат и в трудных случаях, работая на шлифовальном станке, сам показывал, как заставить колебаться пластинку.

Я. И. Шубникова.

Я поступила в сектор секретарем начальника, однако вскоре на меня была возложена вся переписка сектора, в том числе и переписка на трех европейских языках с учеными многих стран мира. Пищущей машинки ни с русским, ни с иностранным шрифтом не было. Работавший в секторе проф. Е. Е. Флинт принес мне какую-то странную машинку с иностранным шрифтом, внешним видом напоминавшую самолет, которую мне пришлось осваивать. Но как быть с русской машинкой? Все указания начальника сводились к словам: «Придумайте что-нибудь!» И я придумывала.

Вскоре А. В. Шубников предложил мне обучиться шлифовальному делу. «Вам приходится все время иметь дело с пластинками. Вы общаетесь с заказчиками, оформляете заказы на пластинки, а сами не знаете, что это такое, как их делают и для чего они», — сказал он мне. Дал прочесть какую-то книжку и поставил к шлифовальному станку под присмотр самого искусного мастера К. А. Драгунова. Я должна была изготовить своими руками пьезоэлектрическую пластинку. Первую пластинку, кстати сказать, я испортила, но вторая уже получилась. Добрейший Константин Александрович Драгунов обладал прекрасным чистым тенором. Работая на станке, он пел

«Как дух Лауры» Листа, арию Ленского из «Евгения Онегина» и многое другое из классического репертуара. Алексей Васильевич очень уважал и любил К. А. Драгунова за его «золотые руки» и высокое мастерство, а также за хороший голос и абсолютный слух. Драгунов еще в Ленинграде поступил в лабораторию истопником. Заметив в нем интерес к делу, А. В. Шубников начал его учить изготовлению пьезоэлектрических изделий. Дружба с Драгуновым продолжалась до самой смерти Алексея Васильевича.

В кристаллографическом секторе все чему-то учились. В частности, А. В. Шубников читал для сотрудников курс лекций по стереографической проекции и ее применению. Он предложил слушать эти лекции и мне. «Неужели Вам не интересно?» — удивился Алексей Васильевич моей нерешительности. — «А мне самому интересно так прочесть этот курс, чтобы было понятно просто умному человеку, не имеющему специального образования. Если Вам что-либо будет непонятно, обязательно спросите меня». Я согласилась и очень скоро убедилась, что читает А. В. Шубников действительно на редкость доходчиво. Я прослушала весь курс и была довольна, что не осрамилась и правильно решала все задаваемые им задачи.

Сам Алексей Васильевич всю свою жизнь учился чему-нибудь. Шлифовке, полировке и обработке камней он учился во время пребывания в Свердловске у камнерезов и горщиков, продолжил учебу на Петергофской гранильной фабрике и освоил это искусство в совершенстве. Он вседа любил «работать руками». В его кабинете стояла специальная застекленная витрина на ножках с шарами, выточенными им из стекла, кварца и различных минералов, с изготовленными собственными руками пьезоэлектрическими пластинками и мозаиками, с выращенными им самим кристаллами. Особенно бросался в глаза собственноручно ограненный и отшлифованный им большой кусок стекла, сверкавший на солнце как настоящий бриллиант.

Со школьных лет А. В. Шубников хорошо владел тремя европейскими языками: французским, немецким и английским, свободно читал, мог разговаривать. И тем не менее он всегда старался усовершенствовать свои знания языков. Читая в подлиннике книги иностранных ученых, не ленился заглядывать в словарь. Жалуясь на свою плохую память, он уверял, что твердо запоминает перевод иностранного слова, посмотрев его в словаре десять раз. В сохранившихся словарях, которыми он пользовался, действительно против некоторых слов стоят по 5, 7 и 10 палочек.

Уже на склоне лет, когда в Институт кристаллографии удалось пригласить преподавателя английского языка, А. В. Шубников предложил всем сотрудникам, желающим изучать язык

или усовершенствовать свои знания, заниматься в кружках. Были созданы группы для начинающих, несколько групп для желающих усовершенствоваться и одна «разговорная» группа, в которой занимался и сам Алексей Васильевич. Он никогда не приходил на занятия с невыученным уроком!

В А. В. Шубникове поражала его удивительная целеустремленность. Сначала мне. показалось, что, кроме кристаллов, его ничто в жизни не интересует. Руководя сотрудниками, занимаясь с ними индивидуально, читая лекции по росту кристаллов, по симметрии, по кристаллооптике, обычно в сопровождении показа необходимого материала с помощью проекционного микроскопа, он всегда увлекался сам и увлекал своих слушателей. Техника показа была отработана отлично, хотя в то время многое было поставлено в буквальном смысле слова «на спичках». На зажженной спичке подогревались препараты, спички же подкладывались на столик микроскопа под препараты, чтобы не лопались предметные стекла.

Однажды я впервые попала на лекцию по росту кристаллов, которая произвела на меня огромное впечатление. Увлекательный яркий показ, краткие четкие доходчивые пояснения лектора, все для меня было новым и интересным. Открылся какой-то неведомый мир!

Вспоминается мне одно высказывание Алексея Васильевича в период, когда мы уже решили соединить наши судьбы. «Имейте в виду, — сказал он, — что для меня самое важное и главное в жизни — это моя работа. Все остальное меня может интересовать лишь постольку- поскольку». Не очень приятно слышать женщине, что она тоже попадает в разряд «постольку-поскольку», но наша многолетняя совместная работа давно уже открыла мне его «секрет» — его одержимость в науке, в частности в кристаллографии.

Однако это высказывание не мешало А. В. Шубникову интересоваться очень многим и за пределами науки. Да и сама наука часто соприкасалась у него с искусством. Он умел находить красоту и симметрию даже, казалось бы, в самых прозаических предметах. Цветы, листья, огурцы, помидоры, арбузы, патиссоны, дававшие в разрезе интересные симметричные фигуры, улитки, раковины прудовиков, закрученные необычным образом, бабочки-махаоны, даже расположенные по способу плотнейшей упаковки личинки неведомых насекомых на тыльной стороне листа — все привлекало его| внимание, а отраженным светом и всех людей, живших рядом с ним.

С самого раннего детства Алексей Васильевич любил и понимал музыку. Нельзя без волнения читать его воспоминания, в

которых он рассказывал, как сам в семилетием возрасте сделал музыкальный инструмент из конфетной коробки, натянув на нее тонкие резинки. У Алексея Васильевича был абсолютный слух, благодаря чему в коммерческом училище его включили в число певчих хора в домовой церкви училища.

Самым любимым его композитором был С. В. Рахманинов. Богатство и разнообразие музыки, глубокий философский смысл произведений этого композитора он считал непревзойденными и при малейшей возможности посещал концерты из произведений Рахманинова, слушал записи по радио и на пластинках. Больше всего он любил Третий концерт для фортепьяно с оркестром Рахманинова. Он высоко ценил также Грига. Любил слушать, но любил и сам играть на семиструнной гитаре, им самим усовершенствованной. Из-за своей застенчивости он предпочитал играть для себя. Наличие слушателей заставляло его волноваться и чаще обычного принимать нитроглицерин для предотвращения приступов стенокардии, которой он страдал с 40-летнего возраста.

Когда Алексей Васильевич, по его выражению, «привык» к Елене Ивановне (моей сестре), он стал играть на гитаре под ее аккомпанемент на рояле. Однажды его попросили выступить на праздничном вечере в Институте кристаллографии. Он наотрез отказался, попросив записать несколько пьес для гитары и рояля на магнитофонную ленту и потом проиграть их на вечере. Так и сделали.

Помню, были исполнены «Кордова» Альбеница и «Испанский танец» Равеля.

Алексей Васильевич хорошо разбирался в живописи и очень ее любил. Нравились ему картины самых различных художников и самых разных направлений. Модное увлечение иконами его не коснулось. Он говорил, что не разбирается в них, хотя, конечно, отдавал должное Рублеву. Нисколько не увлекала его абстрактная живопись. Посещая несколько раз в год Третьяковскую галерею, он каждый раз уделял преимущественное внимание какому-нибудь одному художнику (скажем, Левитану, Сурикову, Серову или Нестерову). Произведения этого избранного художника смотрел, по его выражению, «пристально», дома разглядывал репродукции с его картин, читал соответствующую литературу. Он очень высоко ценил Рембрандта, Ван Дейка, Эль Греко, Сурбарана. Во время поездок в Лондон обязательно выкраивал время, чтобы посетить Национальную галерею. Из английских художников .предпочитал Гейнсборо и Тернера. В период своего пребывания в Ленинграде и во время довольно частых поездок туда в дальнейшем всегда старался «сбегать» в Эрмитаж и в

Русский музей. В Москве, несмотря на колоссальную занятость, он все же старался не пропустить ни одной интересной выставки: несколько раз был на выставке спасенных картин Дрезденской галереи, посещал выставки картин Сарьяна, отца и сына Рерихов, Рембрандта, импрессионистов, Нестерова, Корина, Ватагина, Пименова, скульптур из дерева Эрьзи и др.

Увлекался он обработкой дерева и сам. Занятия столярным ремеслом, к которому он пристрастился еще в Свердловске в 20-е годы, когда ему приходилось самому делать столы, шкафы и оконные рамы, всегда доставляли ему большое удовольствие. Даже на склоне лет, будучи уже академиком, он мог своими руками сделать стол, шкаф или книжную полку, аккуратно обив их линолеумом или жестью. Причем все это было тщательно выстругано, дверцы хорошо закрывались.

Со временем Алексей Васильевич пристрастился к изготовлению из дерева разных художественных изделий. Он умел из самых обыкновенных древесных ветвей или корней делать декоративные столы и скамейки, полки, жардиньерки, оленьи рога, вазочки, солонки, фигурки людей и животных. Особенно удался ему стол из корней и веток можжевелового куста. Как он обрадовался, когда в сделанной им фигурке из толстой изогнутой ольховой ветки мы сразу узнали Жанну Д'Арк.

Кроме любимого «хобби» — обработки дерева, Алексей Васильевич мог выполнить почти любую слесарную работу, всегда чинил сам лабораторные и бытовые электрические приборы. Прекрасно умел выдувать на стеклодувной горелке любой стеклянный прибор, а для отдыха — елочные игрушки: лебедей, гусей, шарики. Он искусно вырезал из бумаги разные сложные фигуры для своих работ по симметрии. Вырезанные им звездочки нужно было подвесить на нитке и погрузить в раствор квасцов. Через 2—3 дня звездочки покрывались блестящими кристалликами. Это были готовые украшения для елки, устраиваемой для детей сотрудников института.

За все время нашей многолетней совместной работы и почти двадцатилетней семейной жизни я не могу вспомнить ни одного случая, чтобы он солгал или покривил душой, высмеял кого-нибудь или пожадничал. Никогда не слышала, чтобы он обругал кого-нибудь или унизил, ни в глаза, ни за глаза. Он не терпел лжи, лени, неточности, неаккуратности, опозданий, отлынивания от работы, небрежности и недобросовестности. Он буквально выходил из себя, сталкиваясь с подобными явлениями, кстати сказать, довольно редкими, но и тут не позволял себе даже повышать голос. Только голубые глаза его в таких случаях метали молнии.

Один из любимейших его учеников и сотрудников Аркадий Сергеевич Шеин, при всей своей исключительной талантливости, отличался патологической неточностью. Он любил и беспредельно уважал своего учителя, и все же не мог себя заставить прийти к нему в точно назначенный час.

Помню такой случай. А. С. Шеин, перешедший тогда на работу в Министерство рыбной промышленности, но продолжавший работать в Институте кристаллографии по совместительству, в очередной раз не пришел в назначенный ему час. А. В. Шубников вышел из кабинета в ярости и тут же продиктовал приказ об объявлении Шеину выговора за опоздание. Вскоре примчался А. С. Шеин. Я молча показала ему приказ. Он буквально ворвался в кабинет, откуда потом доносился его высокий взволнованный голос. Он рассказывал о каких-то своих новых интересных находках в области акустики. Позднее, испросив разрешения у начальства, я бросила приказ в корзинку.

Характер у А. С. Шеина не изменился и до его преждевременной кончины. Однажды, возвратившись домой, мы вдруг с изумлением увидели, что вся наша небольшая квартира опутана какими-то проводами, повсюду стоят и висят разные акустические приборы. Оказывается, А. С. Шеину нужно было немедленно показать своему учителю новое изобретение.

Наскоро поужинав, мы включились в эксперименты, а потом так и легли спать, перешагнув через провода и раздвинув аппаратуру. До поздней ночи Шубников и Шеин, не видя и не слыша ничего, как одержимые, бегали из комнаты в комнату, слушая звуки, передаваемые различными коробочками и трубочками. По комнатам порхали заряженные электричеством бумажки, ревели и пищали различные приборы, а молодой ученик и старый учитель упивались всем происходящим и оба расстраивались, если я в какой-либо трубочке слышала не то, что нужно, или вообще ничего не слышала. Вот за эту увлеченность работой и прощались Шеину все его грехи.

Еще при жизни А. В. Шубникова Президиум Академии наук присвоил А. С. Шеину звание доктора физико-математических наук — «honoris causa», т. е. без защиты диссертации.

Многие спрашивали, как А. В. Шубников организует свой рабочий день? Он действительно успевал очень многое: руководить институтом, писать книги и статьи, руководить кафедрой в Московском университете, принимать массу посетителей в институте, на кафедре, дома и на даче, давать консультации по самым разнообразным вопросам, редактировать чужие работы, руководить сотрудниками и аспирантами,

экзаменовать аспирантов и студентов, писать уйму рецензий на чужие работы и диссертации, быть главным редактором сначала Трудов Института кристаллографии, а затем журнала «Кристаллография», работать в течение многих лет членом Высшей аттестационной комиссии, вести экспериментальную работу, читать лекции в университете, для общества «Знание» и т. д. Приведу один пример, который многое объяснит.

Когда /строили новое здание для любимого детища А. В. Шубникова — Института кристаллографии, он обратил внимание на небрежную работу строителей. Забыв о своем почти 80-летнем возрасте, он сам полез на крышу строящегося института в сопровождении лаборанта с фотоаппаратом. Там были сфотографированы кривые карнизы, перекошенные трубы и другие дефекты постройки. Фотографии были направлены начальнику строительного управления АН СССР. Дефекты пришлось исправлять.

В характере А. В. Шубникова было много упорства, настойчивости, но не было никакого самомнения, самодовольства. Все полученные им звания казались ему незаслуженными. Когда он был избран академиком, радость по этому поводу сопровождалась смущением. Он никогда не кичился своим умом, знаниями и способностями. Всегда расхваливал других. Например, он всегда восхищался умом, широкой и глубокой эрудицией академика Н. В. Белова: «Какой блестящий ум, быстрый, острый, сколько он всего знает, какая поразительная память! Куда мне до него!».

Вопреки своей довольно суровой внешности, А. В. Шубников был необычайно добр, щедр й даже излишне доверчив. По первой просьбе он сразу же хватался за бумажник, стараясь выручить человека из беды. Зато на себя он не любил тратить деньги. Как-то я обратила внимание, что, проходя по лаборатории, он очень сильно стучит обувью. Оказалось, что он залил дырки на подметках битумом. Отдать ботинки в починку он не мог, так как носил свою единственную пару обуви. « А почему бы Вам новые не купить?» — спросила я. — «Ну, это так сложно», — был ответ.

Благодаря своей исключительной чистоплотности и аккуратности Алексей Васильевич выглядел всегда подтянутым и даже элегантным.

После нашей женитьбы в 1956 г. и после покупки дачи в академическом поселке «Луцыно» Алексей Васильевич немедленно развел на приусадебном участке огород. Пристрастившись к сельскохозяйственным работам еще в военные годы, когда сам сажал картошку, капусту, огурцы и морковь, он сам разбивал грядки под огурцы, морковь, укроп, салат, кабачки.

Грядки разбивались «по науке» — по веревочке. «По науке» вносились удобрения, собственноручно рыхлилась земля. Нужно сказать, что и урожаи были отменными. Огурцы родились отличного качества: чистые, ровные, красивые, «симметричные».

Я. И. и А. В. Шубниковы.

Фруктовый и ягодный сад на даче, посаженный предыдущими владельцами, был полон фруктов и ягод: земляники, клубники, черной, красной и белой смородины, крыжовника, малины, вишни и яблок. Урожаи были отличные. Алексею Васильевичу нравилось, что в подполье дома стояли ящики с морковью, бочки с солеными огурцами, капустой и мочеными яблоками, заготовленными на всю зиму, наварено в большом количестве самого разнообразного варенья и джема, посолены и замаринованы грибы, собранные нами в лесу и прямо на участке. Все это его щедрой рукой раздавалось в сыром и приготовленном виде.

Алексей Васильевич был чрезвычайно гостеприимным человеком. Нужно сказать, что в Москве, и особенно на даче, у нас всегда были гости. Дача с ее шестью комнатами, двумя террасами и садом в 70 м^2 к этому очень располагала. Взрослые дети Алексея Васильевича со своими детьми, его ученики и сотрудники, наши друзья и знакомые подолгу жили на даче, приезжали на воскресные дни. Алексею Васильевичу нравилось, что в доме шумно и весело, постоянно слышится музыка и смех, что в саду бегают и играют дети. Только в утренние часы (с 7 до

13 час) на даче воцарялась тишина. Эти часы и в Москве и на даче неизменно отводились для работы. Не делалось исключения ни в отпускные, ни в выходные дни. Алексей Васильевич опускал в своем кабинете шторы, зажигал лампу под зеленым абажуром и погружался в работу. Необычайно требовательный к себе, он редко бывал удовлетворен результатами своей работы, редко выходил из кабинета с довольным видом. Иногда даже говорил: «Ну, сегодня работал только для мусорной корзинки». В своих книгах и статьях всегда стремился достигнуть предельной ясности и простоты изложения, оттачивал каждую фразу. Иногда радовался, что за все рабочее утро ему удалось написать удачные две страницы.

Так же тщательно готовился он к публичным лекциям, к семинарам и демонстрациям, повторяя и проверяя каждый эксперимент по нескольку раз. Тщательно проверял каждое слово в переводах своих статей и докладов, предназначенных для прочтения на иностранном языке. Помню, в 1960 г. перед поездкой в Кембридж на Международный конгресс кристаллографов, испугавшись перспективы переводить свой доклад на три языка, Алексей Васильевич решил заблаговременно отдать текст этого доклада для перевода в специальное учреждение. Какие переводы ему прислали! Выбросив их в корзинку, он обложился словарями и с моей помощью начал переводить сам. Всякое, с его точки зрения, сомнительное слово он просил проверить по словарю.

Алексей Васильевич очень любил природу, ему нравилось собирать грибы. Пока не ослабло зрение, он всегда был у нас по грибам чемпионом. Часто вспоминал, как его любимый друг и учитель академик А. Е. Ферсман, сам заядлый грибник, сочинил шуточную книгу-учебник по искусству собирать грибы. Грибов в ближайшем лесу было великое множество и притом хороших, на сбор которых не жалко было тратить время: белые, подосиновики, подберезовики, мелкие маслята, опята. Возвратясь из леса, все собирались на огромной террасе и садились сортировать и чистить грибы. Иногда возникали веселые споры. Каждый отстаивал право на жизнь принесенных им поганок и никак не желал с ними расстаться. Росли грибы и прямо у нас в саду, правда, только маслята, опята, моховики, сыроежки. Мы сделали попытку развести в саду белые грибы, но, к сожалению, у нас ничего не выросло, хотя и делали все «по науке».

Однажды, выйдя в сад, Алексей Васильевич принес сто штук прекрасных маслят — прямо для маринада. Нужно сказать, что он считал съедобными почти все грибы и частенько приносил вместе со съедобными, с моей точки зрения, ядовитые. Приходилось

потихоньку от него отбирать сомнительные грибы и незаметно выбрасывать.

Алексей Васильевич прекрасно плавал. Он умел держаться на воде очень долго, практически бесконечно, и притом в любой позе: на спине, на животе, на боку, сидя и даже стоя. Отдыхая на юге, мы заплывали в море очень далеко от берега и качались там на волнах. Волны иногда прибивали нас к берегу, а иногда относили в море, причем так далеко, что берег казался туманной пеленой. Как-то в Батуми, во время довольно сильного волнения собравшаяся на берегу толпа встретила нас аплодисментами. Тогда Алексею Васильевичу было уже не менее 70 лет. Мне в жизни выпало огромное счастье — встретить такого незаурядного, исключительно интересного человека, каким был мой муж и друг — Алексей Васильевич Шубников.

Об отце

В. А. Шубникова

Мои самые ранние воспоминания относятся к зиме 1920 г., когда наша семья переезжала из Москвы в Екатеринбург. Мне было тогда два года. С графической четкостью врезалась в память картина: темное помещение теплушки, я сижу на нарах, закутанная в пальто и платки, ноги — в пуховом мешке из большой подушки. Две стены теплушки обиты темно-красным ковром. Справа от меня сверху — маленький белый прямоугольник окна. На полу стоит самовар, из носика его монотонно капает вода и замерзает горкой на полу. Вылезать из мешка мне запрещено. Время тянется бесконечно. Это вспоминается как кошмарный сон.

Родители мои двинулись в этот рискованный путь по приглашению Уральского горного института, а кроме того, как говорила мне мама, из боязни потерять и вторую дочь, т. е. меня. Моя сестра Елена была на полтора года старше меня. Осенью 1919 г. мы обе заболели дизентерией. Сестра умерла через шесть дней, а я выздоровела, но была очень истощена. Переезд в теплушке длился 20 дней. Родители всеми правдами и неправдами добывали дрова и, если удавалось, вещи меняли на еду.

Второе очень яркое воспоминание относится к первому дню жизни в Екатеринбурге. Незнакомая просторная комната, очень жарко натопленная печь, радостное чувство, что наконец-то можно снять пальто и бегать, бегать... Как сейчас вижу, посреди

комнаты большой прямоугольный стол, покрытый белой скатертью, а на нем золотистые бублики и в стеклянной вазочке целая гора желтого колотого сахара! И все это можно есть! Справа стояла очень высокая кровать, покрытая белым покрывалом с горой подушек до самого потолка — от большой до очень маленькой.

Первые два года в Екатеринбурге жить нашей семье было негде. Нас поселили в помещении лаборатории Горного института, где в одной и той же комнате и росли кристаллы, и варился суп, и работал токарный станок, и спали дети. Не было не только лишних вещей, но и вещей остро необходимых. Мои родители, бросив, а частично за гроши распродав обстановку в Москве, приехали на Урал, рассчитывая получить хотя бы самое необходимое из мебели, но в течение двух лет так ничего и не получили. Не было ни кроватей, ни даже матрацев. Столы, топчаны, табуретки папа сделал сам. Кстати, он делал настолько-хорошо, что у нас до сих пор сохранилась одна из его табуреток, отлично выдерживающая конкуренцию с новыми.

Когда в 1921 г. прямо в помещении лаборатории родилась моя сестра Елена, то ее «поселили» в бельевой корзинке, в которой она лежала до года. Теперь трудна поверить, как трудно мы жили в те годы. Посуды не было, пищу варили в химических колбах. Получение по ордеру эмалированной кастрюли было событием, запомнившимся на всю жизнь.

Может показаться странным, что я пишу о том, чему была свидетелем, будучи совсем маленькой девочкой. Конечно, я многого не понимала, но интуитивно чувствовала общий настрой семьи. Была увлеченность работой, совершенно полная и бескорыстная самоотдача. Я видела своих родителей в непрерывном труде и радовалась тому, как все кругом постепенно преобразуется. Вот, папа сделал витрины и раскладывает в них кристаллики. У меня уже есть любимая витрина с голубыми аквамаринами!

Отец начал читать курс лекций по кристаллографии. Часто он сопровождал свои лекции показом различных дифракционных эффектов через проекционный фонарь. Ради того, чтобы посмотреть красивые картинки, я высиживала целую лекцию, все время волнуясь, как бы папа не забыл их показать. Думаю, что красота кристаллов пробудила во мне художника. Часто после лекций отца раздавались аплодисменты — студенты любили своего- молодого профессора.

Уральские студенты тех лет порой поражали своей невоспитанностью и внешней грубостью, но по существу были очень отзывчивыми и сердечными людьми. Зная, как голодает

наша семья, не имея связи с деревней, студенты делали нам маленькие подношения: один привезет из деревни баночку меда, другой — пакетик муки и тому подобное. Делалось это не из подхалимства, подчас неуклюже, но всегда искренне. Отношения между родителями и студентами были очень простыми и дружественными. Многие студенты добровольно помогали в организации лаборатории. За полтора года она была обставлена мебелью, оснащена чертежами и другими наглядными пособиями. Отцу приходилось затрачивать много энергии на приобретение нужного оборудования и приборов. Из одного письма мамы я узнала, сколько усилий он затратил, чтобы получить из Петрограда гониометр, как добивался он средств для покупки токарного станка, как летом 1921 г. ездил в Кунгур за химической посудой, весами, паяльниками и другими приборами. Все это дало возможность приступить к работе по кристаллизации.

Большую помощь во всех делах и начинаниях оказывала <>тцу его жена, друг, преданный единомышленник — Ольга Михайловна Шубникова (урожденная Лебедева). Она была человеком большой души и сильной воли, всегда выдержанная, доброжелательная к людям. В ней ярко проявлялось сознание общественного долга. Для нее были характерны чувство справедливости, бескомпромиссность, честность, принципиальность и бескорыстие. Многие из окружавших считали ее «самым партийным человеком среди беспартийных». Бросив в Москве дом со всей обстановкой, она обрекла себя на жизнь полную трудностей и лишений, но никогда не пожалела об этом. Она всецело была поглощена идеей организации кристаллографической лаборатории. С 1 января 1920 г. по 1 мая 1925 г. Ольга Михайловна работала в Уральском горном институте в должности преподавателя по минералогии.

При всех трудностях жизни мама никогда не раздражалась и умела гасить вспышки гнева, которые бывали у отца при виде всякого рода несправедливостей.

В 1923 г. мы наконец получили квартиру на Усольцевской улице (ныне улица Сакко и Ванцетти). Одноэтажный каменный дом, куда мы переехали, был окружен садом, за ним огород, баня. У нас появились свои огурцы, помидоры, ягоды. Жизнь стала легче.

Осенью 1924 г. родился брат Миша. К тому времени у моих родителей появилось много друзей среди преподавателей университета — тогда молодой и веселый народ. Решили вместе жить летом одной колонией. Для этой цели в глухой деревушке Коптяки в 17 км от города сняли подряд несколько домов,

которые стояли на берегу озера. Деревню полукругом обступал вековой бор со множеством белых грибов, которые почему-то местные жители не собирали. В Коптяках вся наша колония купила большую красную плоскодонку, на которой дети плавали на любимый островок «кораблик». Вечером к нам приплывали родители.

Среди уральских друзей, живших в Коптяках, особенно близкими нашей семье были Стромберг-Воробьевы, Рогаткины, Бушковы, Горины, Мокрушины, Сеговы, Гапеевы. Дружба эта, переданная по наследству детям, перешла теперь в третье поколение.

Любимой игрой наших пап в Коптяках была игра в городки, которая каждый вечер собирала всех на поляне. Часто устраивались коллективные пикники. Проводили их на природе, с самоваром и пирогами с ягодами. Все эти мероприятия устраивались вскладчину. Не помню в то время у нас на столе вина — наверное его просто и не было, зато славились наши «фирменные» соленые огурцы, приготовленные папой со всякими специями (эстрагоном, другими травками и листьями). Ко всяким праздникам обычно готовили пельмени. В этой работе принимали участие и дети. В то время хлеб не продавали, его пекли сами. Может быть, этим объясняется, что у нас часто бывали пироги с тем, что было в доме, например с творогом или картошкой.

Запомнилось мне, как праздновали папин день рождения в 1924 г. За столом собралось много гостей и по команде тамады в руках у всех появились фунтики с изюмом. После стихотворного приветствия, которое кончалось бесхитростными, но очень понравившимися мне словами: «Живи, Алеша, много дней и вспоминай своих друзей!» — папе в руки полетели пакетики с изюмом, а он стоял и растерянно улыбался. Дело в том, что папа очень любил изюм, который в то время был большой редкостью.

Организовывались у нас дальние походы и экскурсии, например поездка на лошадях в лес, в район деревни Липовки, для сбора черники. Этой ягоды было так много, что ее собирали ведрами, причем норма на человека была два ведра в день. Ягоды ссыпали в ящики, поставленные на самодельные тачки. Папа собирал чернику оригинальным способом, лежа на животе. В сушеном виде черника выручала нас в течение нескольких лет. Однажды ездили в горы за кварцем. Всю обратную дорогу я «ехала» на шее у отца. Прекрасные воспоминания остались от пикника на Белинковской мельнице, где в светлом березовом лесу в густой траве росла удивительно крупная земляника. Часто мы ходили на «Каменные палатки». Теперь это место находится в черте города Свердловска, а в 20-х годах кругом был густой лес.

Когда сестре Лене было несколько месяцев, родители должны были ехать в экспедицию в горы. Лену пришлось взять с собой. Мама оставляла ее на полдня в крестьянской семье, днем прибегала кормить. Однажды хозяйка дома призналась, что когда Лена «орала», она давала ей вместо соски, которой не было, «жвачку» из хлеба, завернутую в тряпочку. «Да ты не волнуйся, не ржаной ведь хлеб, а пшенисный», — успокоила она маму.

Такой была жизнь на Урале: и трудной и радостной. Каким был внешний облик отца в то время? В раннем детстве отец казался мне высоким стройным блондином с неизменно хорошим цветом лица, с пшеничными усами и яркими голубыми глазами. Он был подвижный, даже быстрый, но без суетливости, с четкими движениями и легкой походкой. Костюм, в котором он читал лекции, можно назвать экзотическим. Уезжая на Урал из Москвы, мама захватила с собой зеленые плюшевые занавески, которые висели в кабинете ее отца — известного московского врача. Из этих портьер она сшила отцу «наряд» — толстовку с накладными карманами и поясом и брюки типа «гольф» до колен. Худые икры были аккуратно обвиты обмотками, а ноги обуты в грубые рыжие тупоносые штиблеты. За такой наряд студенты прозвали отца «зеленым профессором». В этом костюме он отработал все пять лет в Свердловске. Для столярных и прочих работ отец надевал серую парусиновую блузу. Вообще он не придавал никакого значения своему костюму, но вот свежий белый крахмальный воротничок он требовал ежедневно и неукоснительно.

Сказать, что отец любил искусство — все равно, что ничего не сказать. Наука, ремесла, искусство нераздельно переплетались в его творчестве. Чем бы он ни занимался, он увлекался тем, что делал в данный момент, не терпел и не умел делать плохо, халтурно, некрасиво. Так было во всем. Если занимался огородными делами, грядки у него всегда были параллельны, перпендикулярны, симметричны. Нарезанные им куски мыла всегда имели форму правильных параллелепипедов (мыло отец варил сам в трудные 20-е годы в Екатеринбурге). Отшлифованные им брошки из камня или дерева всегда были изящны. Отдыхая от науки, он любил переключаться на работу руками. Много занимался обработкой дерева, делал всякие изделия из корней и коряг, это были полуфантастические фигурки животных, всевозможные полочки, вешалки. Шедевром мастерства может служить сделанный им овальный столик из корней можжевельника, сохранившийся до сих пор.

Вся работа отца по симметрии в 20—30-е годы проходила на глазах у старших детей. Не понимая, конечно, научного смысла, мы видели художественную, графическую сторону. Когда папа

занимался вопросами заполнения пространства фигурами без промежутков, он вырезал из цветной бумаги различные многогранники, клеил их на газеты и развешивал по стенам; клеил их прямо на окна, на кафельную печь, что всегда вызывало неудовольствие нашей няни, но очень нравилось всем остальным членам семьи.

Вырезанные из папиросной бумаги симметричные кружевные розетки, бордюры и орнаменты с детства окружали меня. Занимались мы все «кляксографией», когда, располагая кляксу по законам симметрии, получали интересные орнаменты. Позднее папа вырезал кляксу из металла, обводя ее и заливая тушью. В это время он разрабатывал теорию 17 видов симметрии сетчатых орнаментов.

Большое впечатление с раннего детства производили на всех детей сделанные папиными руками игрушки и елочные украшения: зеркальные стеклянные шарики, которые он выдувал на глазах завороженных детей, стеклянные лебеди с красиво изогнутыми шеями — гордость «папиной фирмы», сосульки, вытянутые и скрученные из полосок разноцветного стекла, снежинки, созданные с помощью кристаллизации квасцов или искусно вырезанные из бумаги. Ребята обычно серебрили или золотили шишки и орехи, клеили цепи, хлопушки, корзиночки и всем этим руководил увлеченный делом отец.

Когда в 1920 г. мы переехали на Урал, у меня не было куклы. Папа выточил ее на токарном станке из полена. Цилиндр, шар, четыре длинных тонких цилиндра, соединенных между собой металлическими пружинками, и кукла готова. Она прочно сидела, у нее тряслись руки и ноги и качалась голова. Я не знала, как с ней играть. Тогда мама обернула ее ватой, обшила белой тканью и пришила волосы из пакли. Папа был огорчен, а я очень полюбила свою куклу.

Однако отец делал не только игрушки. Он смастерил нам санки, полки, табуретки и другие хозяйственные вещи. Во время длительных детских болезней отец развлекал нас, искусно делая из бумаги кораблики, лодочки и лягушек.

После переезда в Ленинград событием в нашей детской жизни был сделанный отцом кукольный дом из больших ящиков, положенных один на другой открытой стороной сбоку. Родители предложили нам самим оформить это шестиэтажное сооружение. Стены комнат мы оклеили разноцветной бумагой и обоями, потолки — белой бумагой; а для пола папа предложил мне придумать шесть рисунков паркета, что я и выполнила. Вместе с ним мы трудились над изготовлением мебели из картона, ее покраской и лакировкой. Помню нашу гордость — овальный

столик в стиле ампир на одной ножке из большой деревянной катушки. В нижнем этаже домика помещался гараж — это были владения братишки Миши. Там же хранились большие, хорошо отполированные кубики разной величины, из которых можно было построить сооружение во весь наш ребячий рост. Это тоже была папина работа. Хотя к тому времени, когда оформление дома было завершено, мы уже перестали играть в куклы, но на всю жизнь осталось воспоминание о том, как было интересно все делать самим.

В дальнейшем при оформлении различных интерьеров мебельными и декоративными тканями я с благодарностью вспоминала родителей, их мудрое творческое и эстетическое воспитание с помощью интересной игры.

С малых лет папа приучал нас видеть красоту в простом и обыденном. Кора деревьев, шлифы камней, текстура дерева — во всем он находил красоту. Поселившись в Ленинграде в довольно нелепой и неудобной квартире, но с красивым камином и окнами, выходящими на Неву, мы немало часов провели на подоконниках этих окон, любуясь переливами воды и неповторимыми закатами солнца.

Увлекая детей занимательной игрой, отец развивал в нас наблюдательность и фантазию. Помню, как летом в деревне мы рисовали с натуры всевозможные «рожи» на основе пятен от сучков на дощатом потолке избы, а также выискивали сюжеты для картин, пользуясь разными пятнышками и тенями. Для развития наблюдательности им была изобретена особая игра: прятать какую-нибудь вещь на самом видном месте и затем всем искать ее. Нашедший тихо садился на место и приобретал право прятать вещь в следующий раз, что было и почетно и интересно.

Когда мне исполнилось четыре года, папа решил попробовать заняться со мной рисованием орнаментов, которыми сам был увлечен в ту пору. Из оберточной бумаги мама сшила тетради, и занятия начались с простейших плоских орнаментов, которые папа рисовал, а я копировала. Задания постепенно усложнялись и дошли до довольно сложных многокрасочных орнаментов. По чудом сохранившимся тетрадям я установила, что занятия наши продолжались с 8 октября 1922 г. по февраль 1924 г. Когда папа увидел, что копии мои почти не уступают его оригиналам и что у меня появилось стремление к самостоятельности, он уроки прекратил, но заряд был дан мне на всю жизнь. В этом немалую роль сыграло и какое-то уважительное отношение родителей к детским занятиям. Я уже не могла отстать от увлекшего меня рисования, придумывания орнаментов и посвятила этому делу всю жизнь, став художником-текстильщиком.

В период нашей жизни в Ленинграде мы под руководством отца увлекались приготовлением аппликаций из цветной бумаги, смело берясь и за пейзажи и за фигурки людей. В этой веселой работе отец и дети творили на равных правах. Папа сам любил рисовать. Помню, как в Свердловске он сделал выставку своих работ: портретов, выполненных углем. В этот период он тренировал меня, заставлял рисовать окружности углем на вертикально помещенной газете.

В 1923—1924 гг. папа подарил мне сделанный собственноручно калейдоскоп. Эта интересная игрушка оставила во мне глубокий след. Много лет спустя, когда я уже была зрелым художником и трудилась на фабрике декоративных тканей над созданием текстильных рисунков, я поделилась с отцом своими трудностями. Слишком много времени у художников уходит не на творческую, а на техническую работу. Папа загорелся идеей разработки специальных оптических приборов в помощь художникам текстиля. Так возникла идея создания многообъективного и зеркального множителя изображений. Эта задача решалась в порядке творческого содружества работников Института кристаллографии АН СССР и Ткацко-отделочной фабрики им. Маркова. Научный сотрудник Института кристаллографии В. А. Шамбуров вместе с художниками фабрики разработал конструкции двух аппаратов, с помощью которых оптическим путем можно было размножить повторяемые элементы в орнаментах. Эти приборы затем были построены в художественной мастерской фабрики. Так, игрушка-калейдоскоп вошла в промышленность.

Когда в 1925 г. после пятилетнего пребывания в Екатеринбурге мои родители переехали в Ленинград, то, стосковавшись по искусству, начали очень энергично посещать музеи и выставки и всегда брали с собой детей. Папа интересовался не только классическим, но и современным искусством. Помню, как мы были с ним в мастерской художника Эссена и удивлялись его работам, не очень их принимая. Помню горячие споры вокруг работ художника Филонова, которые экспонировались в Русском музее.

В 1929 г. на выставке в Ленинградской Академии художеств папа купил большую картину художника В. Кокорева. На картине, написанной темперой на картоне, был изображен, по-видимому, северный карельский пейзаж белой ночью с силуэтами сосен на переднем плане и серией озер, окруженных куполами деревьев. Пейзаж был выдержан в голубовато-перламутровой гамме и полон грустного лиризма. Картина эта в строгой белой раме висела у нас дома одна на голубовато-серой стене. Она

перекликалась с великолепным камином из белого мрамора и выглядела очень уместно и красиво, нравилась папе и всем нам. Мне кажется, что картина эта была очень созвучна его душевному строю того времени, в ней я узнаю отца.

Из любимых отцом художников, как мне думается, можно выделить троих. Первым из них я бы поставила Винсента Ван Гога. Вернувшись в 1927 г. из командировки в Германию, папа привез серию великолепных репродукций картин Ван Гога. Оформив под стеклорепродукцию «Мост», он повесил ее у себя над диваном. Все последующие годы репродукции произведений Ван Гога постоянно висели в кабинете отца до самой его смерти. Конечно, мне трудно с уверенностью сказать, за что отец любил Ван Гога. Постараюсь объяснить это, зная характер отца.

Нервный, мятущийся, думающий, ищущий Ван Гог прокладывал новые пути в искусстве и этим самым должен был быть близок отцу. Ван Гог, сумевший увидеть вихри там, где их никто не видел, показал, как в спирали закручиваются облака, солнце и луна, или просто написал два солнца в картине «Звездное небо», а в картине «Звездная ночь» — множество солнцеподобных звезд, находящихся в беспрерывном вращении. Он первый показал в своих картинах, как луч солнца или других источников света распространяется концентрическими, расходящимися от центра кругами. Его вдохновенная фантазия передавала сложные понятия посредством простого, что было так созвучно отцу. При всей страстности, экспрессивности живоплси Ван Гога в ней всегда есть обобщение, анализ, логика ученого. Как отмечали его современники, Ван Гог был воспитанным и деликатным человеком, но при внешней сдержанности внутренне весь был «движением пылающего чувства». Это не могло оставить отца, любящего творческих людей, равнодушным к художнику.

А. В. Шубников в лаборатории поисковых исследований. 1970 г.

Вторым любимым художником отца я бы назвала испанского художника Доменико Теотокопуло, прозванного Эль Греко. Вернувшись из командировки в Испанию в 1954 г., папа привез альбом репродукций произведений художника. Что же импонировало отцу в творчестве Эль Греко? Думается, что отец почувствовал и в нем близкую душу — душу художника с философским складом ума. Экспрессионизм, эмоциональная насыщенность его творчества была сродни отцу. Бледные, тонкие, одухотворенные лица на портретах Эль Греко, их пылающие огнем глаза, скрытая страстность натуры при большой внешней сдержанности — все это очень напоминало самого Алексея Васильевича.

Нидерландский художник Эшер — философ, математик и кристаллограф прислал папе свои книги с литографиями своих работ. Отец очень высоко ценил этот подарок, переснял для меня ряд репродукций его работ. В картинах Эшера переплетаются причудливые формы живого и неживого, необычный взгляд на обычные вещи, очень субъективное восприятие мира. Конечно, отцу были особенно понятны кристаллографические образы этого необыкновенного художника.

В литографии Эшера из серии «Многогранники» есть работа под названием «Порядок и хаос». В центре изображен сверкающий идеальный кристалл совершенной, чистой формы, а кругом различные деформированные предметы со свалки. И в этом противопоставлении прекрасной чистой науки — кристаллографии житейскому хламу есть что-то очень близкое моему отцу, часто далекому от реальной жизни, но всегда бесконечно преданному своей любимой кристаллографии.

В Кристаллографической лаборатории

М. П. Шаскольская

Вспоминая о первых годах ленинградского периода своей деятельности, Алексей Васильевич Шубников любил говорить, что все началось с укладки паркета. Дело в том, что когда А. В. Шубников начал работать в Минералогическом музее Академии наук, первый этаж здания музея был еще не отремонтирован после разрушений, нанесенных «знаменитым» наводнением 1924 г. И действительно, начинать пришлось с ремонта, в том числе с укладки всплывшего паркета. В отремонтированных комнатах А. В. Шубников разместил оборудование, заботливо привезенное им из Свердловска: немногие станки, самодельные приборы, инструменты. К рабочему инструменту у Алексея Васильевича всегда была особая страсть. Он собирал и хранил его с исключительной аккуратностью. Кое-какое оборудование удалось достать в самом музее и в других институтах, а рентгеновскую установку приобрести в Германии.

К тому времени, как мне выпало счастье попасть в лабораторию, она была уже вполне оборудована и занимала четыре комнаты, выходившие окнами на Университет: кабинет А. В. Шубникова [* Впоследствии в той комнате, где был кабинет А. В. Шубникова, до 1979 г. располагался книжный магазин Академии наук СССР.], мастерская, общая лаборатория и рентгеновская.

Я начала работать с зимы 1929/1930 года. Стояли холода, и ежедневная топка и чистка огромных печей входили в круг моих первых обязанностей, наряду с уборкой помещения и мытьем камней из коллекции музея. Месяца через два я получила повышение: меня определили на должность препараторской ученицы в шлифовальную мастерскую с заданием научиться технике шлифовки и изготовления шлифов для демонстрации основных явлений кристаллографии на лекциях А. В. Шубникова.

В музее много лет работал мастер по изготовлению шлифов И. Э. Петц, грузный, лысый немец с одутловатым лицом, висящими усами и остроконечной бородкой. Петц приехал в Россию еще до первой мировой войны, из лаборатории самого Грота в Мюнхене. Прибыл он на заработки и намеревался, проработав несколько лет, вернуться в родной Мюнхен. Был он мастером высокого класса и даже автором брошюры — руководства к изготовлению петрографических шлифов. Он был исполнителен, аккуратен, пунктуален, преисполнен чрезвычайно высокого мнения о себе и о своем мастерстве, но трепетал перед начальством. Без разрешения не мог ступить ни шагу.

Старожилы музея рассказывали, как однажды Петц появился в кабинете А. Е. Ферсмана и обратился к директору с просьбой: «Herr Direktor, позвольте мне немножечко жениться». Было очень сложно объяснить немцу, что нет необходимости получать у директора подобное разрешение. «Немножечко женившись», Петц осел в России и, так и не овладев русским языком, многие годы провел за своим шлифовальным станком в тесной комнатке при музее.

Петрографические шлифы он изготовлял безукоризненно. Однако нужные Алексею Васильевичу кристаллооптические шлифы Петц сделать не сумел. Упрямый старик, привыкнув всю жизнь к одним и тем же приемам и к стандартной толщине шлифа, не смог или не хотел понять, для чего нужны монокристальные срезы разной ориентировки и разной толщины. Пришлось взять на это дело ученицу, т. е. меня.

Петц, хоть и нехотя, но, выполняя распоряжения директора, все же показал мне основные приемы шлифовки. После этого меня перевели в Кристаллографическую лабораторию А. В. Шубникова. Так я стала готовить кристаллические шлифы уже под руководством А. В. Шубникова и Г. Г. Леммлейна.

В составе лаборатории были тогда, кроме заведующего, всего шесть человек: аспирант Г. Г. Леммлейн, научные сотрудники Б. К- Бруновский и Е. В. Цинзерлинг и два механика-шлифовальщика С. А. Тизенгаузен и М. Н. Абаза. Обязанности уборщицы и истопника выполняла Л. С. Генералова. Почти одновременно со мной стал обучаться шлифовальному делу служитель музея К- А. Драгунов. В 1931 г. пришли в лабораторию Б. В. Витовский и Г. Б. Бокий. Позже у Б. К. Бруновского появился аспирант Зотов, в мастерскую поступили опытный механик М. М. Раупенас и ученики М. Фадеев, О. Галахова, Р. Жорова, Е. Вандер-Флит, Е. Мещерякова и другие. Техником, а точнее агентом по снабжению, в 1930—1931 гг. работал В. З. Бульванкер.

Гордостью А. В. Шубникова была рентгеновская лаборатория

с аппаратурой, изготовленной в Берлине по специальному заказу. Ею ведал Бруно Карлович Бруновский, совершенно лысый, добрый, скромный, неразговорчивый молодой человек, но всегда умевший ответить неожиданной остроумной шуткой на непрестанные поддразнивания Г. Г. Леммлейна. За глаза все звали его «Брунаша». Бруно Карлович был убежденным холостяком, жил с двумя старушками — матерью и теткой, нежно заботился о них и в жизни знал лишь две страсти: науку и охоту. По воскресеньям он уезжал на охоту с собаками, а в последующие дни всегда готов был рассказать о своих охотничьих трофеях.

Георгий Глебович Леммдейн был аспирантом А. В. Шубникова. Он был тогда здоровым и жизнерадостным, задорным, неутомимым заводилой веселых игр, шуток, розыгрышей — лишь через год его свалила беспощадная болезнь, отравившая всю последующую жизнь. Он уже тогда совместно с А. В. Шубниковым выполнял работы по кристаллизации на поверхности расплава, по ортотропизму роста кристаллов, позднее открыл и исследовал механизм образования жидких включений в кристаллах, а также занимался изучением двойников кварца.

Екатерина Владимировна Цинзерлинг работала в лаборатории и в музее. Научная биография ее интересна и оригинальна. Она окончила два факультета Бестужевских курсов — филологический и естественный, великолепно знала искусство, занималась вначале ботаникой, а затем, увлекшись лекциями А. Е. Ферсмана и А. В. Шубникова, обратилась к минералогии и кристаллографии. В те годы она начинала свои работы по раздвойниковыванию кварца.

Особо надо сказать о Борисе Владимировиче Витовском. По образованию инженер-строитель, он был оригинальным и ярко талантливым конструктором. Придя в лабораторию как механик, он быстро завоевал всеобщее уважение. Он схватывал на лету мысль Алексея Васильевича и сразу претворял ее -в приборы и установки. Связав свою судьбу с лабораторией А. В. Шубникова сначала случайно, он остался в ней на всю жизнь и стал выдающимся специалистом по выращиванию кристаллов. В годы Великой Отечественной войны он вместе с Г. Ф. Добржанским разработал первый скоростной метод выращивания кристаллов. Его исследования по выращиванию кристаллов сегнетовой соли в 1946 г. были обобщены и систематизированы в его интереснейшей кандидатской диссертации, которая, к сожалению, осталась неопубликованной.

В механической мастерской работал Сергей Александрович Тизенгаузен, желчный и неуживчивый потомок прибалтийских

баронов. К окружающей его действительности он относился с насмешливым презрением, не упуская случая помянуть о добром старом времени. Даже когда неутомимый Костя Драгунов вытащил его однажды на теннисный корт, «Тизен» желчно заметил, что бегать самому за мячом не только утомительно, но и унизительно. «Раньше мячи подавали мальчики в белых перчатках», — сообщил он. Эти сожаления о прошлом не мешали ему быть безукоризненно точным и исполнительным механиком и шлифовальщиком. Впрочем, плохие работники в лаборатории не удерживались. При строгости и требовательности А. В. Шубникова работать плохо было просто невозможно.

Всех шлифовальщиков: и брюзгливого «барона» Тизенгаузена, и нагловатого мальчишку М. Н. Абазу, и веселого жизнерадостного Костю Драгунова, и меня учил Алексей Васильевич.

В эти годы зарождалась и становилась на ноги советская пьезокварцевая промышленность. В 1927 г. в Ленинграде было первое совещание по пьезоэлектричеству. Единственным пьезоэлектрическим материалом тогда был кварц, и А. В. Шубников вместе с Б. К. Бруновским начали поиски других пьезоэлектриков среди природных минералов. Техника была самой примитивной, и схема опытов элементарно простой. Кристалл подвешивался на нитке вблизи антенны. Б. К. Бруновский ударял по нему несколько раз куском того же минерала, а Алексей Васильевич слушал в телефон в соседней комнате, считая число ударов и оценивая на слух их силу в баллах. Затем экспериментаторы менялись местами, повторяя опыт. «После достаточной практики, — пишут они, — нам удавалось не только однообразно для каждого вещества оценивать силу воспринятых в телефон звуков, но по характеру их даже отличать друг от друга типичные диэлектрики» [43, с. 370]. Так было проверено 84 минерала из коллекции Минералогического музея и расположено в порядке слышимости в телефон при ударе.

Замечательно, что работа эта была предпринята не столько для поисков новых пьезоэлектриков, сколько для проверки предположения А. В. Шубникова о том, что всякий диэлектрик, в том числе и аморфный, будучи помещен в электрическое поле, будет обладать пьезоэлектрическими свойствами, ибо ориентированное расположение его диполей гарантирует отсутствие центра симметрии [43, с. 368]. Этой работой открывается серия исследований А. В. Шубникова по влиянию симметрии среды на свойства кристалла.

К концу 20-х годов в лаборатории А. В. Шубникова было

освоено и налажено производство пьезокварцевых пластинок. Создавал это производство Алексей Васильевич своими руками в буквальном смысле слова, и сам учил каждого из сотрудников искусству обработки камня, которое перенял у уральских гранильщиков в Екатеринбурге [350]. Любовь к работе руками и при этом высокое мастерство отличали А. В. Шубцикова в течение всей его жизни. Работе руками он учил и своих сотрудников, требуя, чтобы каждый опыт был подготовлен и поставлен самим экспериментатором. Уже в последние годы жизни в разговоре со мной Алексей Васильевич горько сетовал, что ныне исследователь обычно работает на кристалле, который выращен не им. Нужно, считал он, самому растить и чувствовать кристалл.

А. В. Шубников сам много работал в мастерской, шлифуя кварцевые пластинки. Не раз бывали случаи, когда ему вместе с мастерами приходилось шлифовать всю ночь, выполняя срочные заказы для зарождающейся тогда пьезокварцевой промышленности.

Неизменно подтянутый, в ослепительно белой рубашке с накрахмаленным воротничком и галстуком, Алексей Васильевич надевал халат и становился у станка. У него были выработанные приемы, точность движений. Кстати, о точности движений. Алексей Васильевич отличался способностью мгновенно подхватывать любую падающую вещь, не давая ей коснуться пола. Надо сознаться, что он любил это демонстрировать.

Думаю, у каждого, кого учил А. В. Шубников, на всю жизнь остались приемы и навыки ремесла, усваивалось его основное правило: больше всего времени и труда затрачивать на первые, самые грубые операции шлифовки; чем тщательнее их выполнить, тем легче пойдет более сложная, тонкая шлифовка и полировка. К первой, подготовительной стадии любой работы он относился крайне придирчиво, немилосердно заставляя каждого на первых порах переделывать ее по многу раз. Завершающие стадии обработки пластинок он обычно брал на себя и зачастую самые трудные, самые неподатливые пластинки в его руках оживали. Весельчак Костя Драгунов с самым серьезным видом уверял, что стоит Алексею Васильевичу не то что прикоснуться, но только поглядеть на пластинку, как сразу в кварце возникает пьезоэлектрический отклик, который тогда обнаруживали по звуковому сигналу генератора.

В поисках способов быстрой ориентации кварцевой гальки, не имевшей естественной огранки, А. В. Шубников вместе с Г. Г. Леммлейном, а позже с Б. В. Витовским конструировал простые оптические установки: на фанерной подставке крепились осветители, линзы, николи (поляроидов тогда еще не было) и

стеклянная банка с керосином, в которую рукой погружали кварцевую гальку. Керосин просветлял шершавую поверхность гальки, мастер глазом ловил коноскопическую картину и пластилином прикреплял иглу в месте выхода оптической оси кристалла. Эту операцию все не любили из-за керосина, но наловчились определять оптическую ось с точностью до 1—2°. Установки получали в лаборатории названия: «Крокодил», «Диплодок», «Крокодил II» и т. д. [30, 54, 57, 59, 91J.

В первые годы, при разработке основ пьезокварцевого производства, Алексею Васильевичу приходилось решать множество технологических проблем, таких как способы отмучивания наждака, приемы полировки стекла и камня, изготовление алмазных пил и т. д. Например, он много дней возился с алмазной пилой, определяя наивыгоднейший способ насечки диска для затравливания алмазом. Теперь все это давно пройденный этап, технология шагнула далеко- вперед.

Распиливая, шлифуя и полируя кварцевые пластинки, А. В. Шубников не только разрабатывал технологические приемы, но глубоко вникал в суть процесса. Плоды этих размышлений нашли отражение в его статьях [53, 60, 84, 100, 101J.

Просверливая слюдяные пластинки для приборов, он заметил анизотропию деформации и описал ее в статьях о фигурах сверления, связав форму этих фигур со строением материи [32, 44]. В поисках приемов точной шлифовки сферических поверхностей А. В. Шубников изобрел способ шлифовки шаров вращающейся трубкой, повсеместно применяющийся и теперь [38].

Занимаясь отмучиванием наждачных порошков на ситах разных номеров, А. В. Шубников подметил явление муара, наблюдающееся при наложение двух сит друг на друга [350, с. 31]. Периодичность сит он связал с периодичностью кристаллической решетки. Отсюда родились его первые работы по муару. Еще в 1927 г. он высказал идею о том, что с помощью явлений муара можно будет увидеть атомные сетки. «Да простят нам нашу мечту строгие критики», — писал А. В. Шубников в этой статье [39, 48].

Сначала один, а потом с Б. В. Витовским он сконструировал фотографическую установку с множеством объективов, для чего тогда же был разработан метод шлифовки малых идентичных линз [130] . Для наблюдения эффекта муара он смастерил из фанеры держатель, в котором над осветителем крепились два негатива с изображением сетки. Наблюдатель, вращая один из негативов, мог видеть, как появляется и изменяется увеличенное изображение сетки. В 1932 г. эта установка демонстрировалась на

выставке достижений АН СССР к 15-летию Великой Октябрьской революции. В пояснительной надписи высказывалась идея о том, что с помощью явлений муара когда-нибудь можно будет увидеть атомные сетки. Работы А. В. Шубникова по муару привели к развитию растровой оптики.

Обучая молодых сотрудников шлифовке кристаллов, Алексей Васильевич открывал нам путь в науку. Характерно, что в книге «Руководство к изготовлению пьезокварцевых препаратов» [58J А. В. Шубников в качестве соавторов включил работавших в мастерской шлифовальщиков. Каждого из них он заставил написать свою часть текста, а потом тщательно отредактировал его.

Из молодежи, работавшей в те годы в мастерской, несколько человек перешли на работу в лабораторию или в вузы, иные стали самостоятельными мастерами. Особо надо упомянуть К. А. Драгунова, который под руководством А. В. Шубникова вырос в непревзойденного мастера по обработке кристаллов. Он создавал уникальные приборы и изделия из кристаллов, воспитывая учеников, которым передавал мастерство, воспринятое им от своего учителя.

Интерес к пьезокварцу быстро возрастал. В лаборатории все чаще появлялись представители различных организаций. Рамки лаборатории при Академии наук стали тесны. Тогда под руководством А. В. Шубникова была организована лаборатория в Институте прикладной минералогии (ныне ВИМС), помещавшемся неподалеку, тоже на Васильевском острове. Почти все сотрудники Кристаллографической лаборатории работали там по совместительству. Несколькими годами позже в Москве был организован Государственный трест № 13, для работников которого А. В. Шубников читал лекции. Материал этих лекций явился основой книги «Кварц и его применение» [133].

Как уже было сказано, материалом для изготовления пьезокварцевых пластинок служили груды гальки горного хрусталя [350, с. 32], сваленные на полу в углу лаборатории. Однако запасы ее быстро истощались, сырья не хватало. Промышленной добычи кварца в то время не существовало. А. Е. Ферсман и В. И. Крыжановский предложили скупить остатки горного хрусталя у бывших уральских кустарей — горщиков. Послали с этим поручением В. З. Бульванкера, а в помощь ему дали меня.

Можно было бы написать отдельный увлекательный рассказ о том, как летом 1930 г. мы ездили по уральским деревням и встречались со старателями, даже со знаменитым Андреем Хрисанфовичем Южаковым; как у старателей раскрывались

сердца и сундуки с кристаллами — стоило нам отрекомендоваться, что мы от Ферсмана и Крыжановского. Нам удалось прислать в лабораторию несколько ящиков кварца.

В те годы кварц господствовал в лаборатории. На столе Г. Г. Леммлейна громоздились груды мелких кристалликов, привезенных им из Грузии. На них он изучал коррозию, регенерацию, скелетные формы, двойники.

А. В. Шубников исследовал механические свойства кварца, в частности фигуры удара и давления. В лаборатории не было больших нагрузочных устройств, и Е. В. Цинзерлинг проводила механические испытания на большом прессе Бринеля в Физико-техническом институте (ФТИ). Перед испытанием кварцевые срезы протравливали, чтобы выделить монокристальную область. Каково же было изумление Е. В. Цинзерлинг, а потом и всей лаборатории, когда, протравив кварц не до, а после вдавливания, она впервые обнаружила любопытную картину — ныне всем известную как результат механического двойникования. Алексей Васильевич тут же повторил травление своими руками. На следующий день он и Е. В. Цинзерлинг поехали в ФТИ, взяв с собой много образцов, чтобы получить фигуры удара и давления на разных срезах. Несколько дней в лаборатории говорили и думали только о загадочных фигурах травления. А. В. Шубников и Г. Г. Леммлейн спорили о причинах их возникновения, отбрасывая одну гипотезу за другой.

Один из этих дней начался с того, что А. В. Шубников повесил на двери своего кабинета надпись: «Входа нет». Дверь в кабинет профессора никогда не запиралась, и любой из нас имел право войти туда без спроса. Но если на дверь вешалась аккуратно написанная черной тушью вывеска: «Входа нет», тогда никакая причина не могла бы заставить кого-либо нарушить запрет. «Входа нет» означало, что ставится опыт, требующий затемнения, проявляются фотографии или же профессор хочет сосредоточиться в тишине. На этот раз входа не было с раннего утра до середины дня, а около полудня А. В. Шубников громко и весело стал созывать всех. «За чаем, — объявил он, — я расскажу вам, что происходит с кварцем».

Полуденный чай входил в традиции лаборатории. В середине дня все собирались за общим столом. Здесь обсуждались события дня, сообщались новости, здесь слышали мы рассказы А. В. Шубникова, блестящие импровизации Г. Г. Леммлейна, позже увлекательные повествования Б. В. Витовского. За чаем Алексей Васильевич часто обращался к воспоминаниям. Это здесь слышали мы его рассказы об организации лаборатории в Екатеринбурге и в Ленинграде, о его детстве и юности, о

недавней командировке в Германию. Очень хорошо помню, как, рассказывая о нравах немецких буршей, он сказал: «Я даже не сразу разобрался, почему мне было так противно, а потом понял — мне отвратительно любое проявление национализма, в какой бы стране оно мне ни встретилось».

Но вернусь к полуденному чаю того дня, когда А. В. Шубников разгадал суть процессов механического двойникования кварца. Мне кажется, что это было ранней весной 1933—1934 гг. На этот раз перед чаем он прочел краткую лекцию, объяснив нам, как образуются механические двойники. На доске, висевшей в его кабинете, он заранее нарисовал с присущим ему мастерством структуру кварца до и после двойникования — рисунок, который теперь воспроизводится в учебниках [350, с. 356].

Замечу, к слову, что слушателей лекций А. В. Шубникова всегда поражало то, как великолепно чертил он на доске. Одним взмахом руки рисовал он идеальную окружность. Казалось, что это врожденный талант. Но однажды за чаем в лаборатории он рассказал, что перед тем, как впервые читать лекции в Екатеринбурге, он два вечера подряд по нескольку часов тренировался у доски, чтобы научиться рисовать окружность. Чертежи и рисунки к своим статьям он всегда делал сам. Того же требовал и от нас. Вспоминается, как вычерчивал он схему образования поверхностей равных разностей хода в оптически одноосных и двухосных кристаллах. Схема представляет собой множество пересекающихся эллипсов и кругов, от которых рябит в глазах. Алексей Васильевич несколько раз приступал к этому чертежу, но сбивался из-за ряби. Тогда он установил доску с начатым чертежом у себя в кабинете. Ежедневно утром, едва войдя в лабораторию, подходил к чертежной доске и проводил только три окружности или три эллипса. Так, в течение многих дней постепенно были начерчены нужные схемы [231, рис. 83 и 86].

Зимой 1930—1931 г. А. В. Шубников увлекался простым методом наглядной демонстрации симметрии кристалла: естественно ограненный кристаллик помещался в центре сферической колбы, стенки которой играли роль конденсатора для света, направленного на кристалл. Колбу с кристаллом можно было наклонять, поворачивать, и свет, преломленный гранями кристалла, попадая на экран или фотопластинку, давал сходные с лауэграммами красивые симметричные картины. В статье [63, с. 112] воспроизведена фотография той простейшей установки, которая стояла тогда на столе в кабинете А. В. Шубникова. Метод, к сожалению, не стал широко распространенным, но автор его вернулся к этой идее и развил ее

совместно с В. Ф. Парвовым в последнем своем докладе на Федоровской сессии 1969 г., напечатанном уже посмертно [346].

В 1931 или 1932 гг. А. В. Шубников был приглашен консультантом в Физико-технический институт АН СССР. Сначала он проводил в ФТИ один день в неделю. Возвращался оттуда всегда с рассказами о новостях литературы, о новых работах физиков.

Контакт с физиками, в частности с академиком А. Ф. Иоффе, становился все более тесным. Тогда же А. В. Шубников начал добиваться перевода Кристаллографической лаборатории из Отделения геолого-географических наук АН СССР в Отделение физико-математических наук. Нам, молодежи, это казалось лишними хлопотами. Помню, как однажды Алексей Васильевич подробно разъяснял нам причину перевода в связи с изменением содержания науки о кристаллах, с развитием физики кристаллов и ее связи с промышленностью.

Постепенно контакт с ФТИ становился двусторонним — физики стали чаще появляться в лаборатории А. В. Шубникова. Весной 1933 или 1934 г. большая группа физиков приезжала в лабораторию еженедельно, чтобы слушать лекции А. В. Шубникова. Среди них были А. В. Степанов, А. П. Комар, Н. В. Бриллиантов, Ю. С. Терминасов, М. В. Якутович и другие ученики А. Ф. Иоффе. Лекции всегда сопровождались показом опытов.

Нередко выступал А. В. Шубников с докладами на заседаниях Федоровского института, которые тогда происходили регулярно раз в две недели. На многих заседаниях темой была бесконечная дискуссия между А. В. Шубниковым и О. М. Аншелесом о природе вицинальных граней. Не наспорившись на заседаниях, противники перенесли дискуссию в печать. В ответ на статью Аншелеса А. В. и О. М. Шубниковы опубликовали свою [31], на что Аншелес ответил новой статьей с эпиграфом: «Дорога-то здесь; я стою на твердой полосе (А. С. Пушкин «Капитанская дочка»)».[* Аншелес О. М. Ответ А. и О. Шубниковым. — Зап. Рос. минерал, об-ва, 1930, ч. 59, № 1, с. 80.] Дискуссия разгорелась. Противники вносили в нее столько страсти, иногда и недружелюбной, что в конце концов неизменно корректный и доброжелательный А. К. Болдырев вынужден был наложить запрет на произнесение слова «вицинали» на заседаниях Федоровского института. На одном из последующих заседаний Г. Г. Леммлейн начал свое выступление словами: «Я буду говорить о том, что здесь нельзя называть». Алексей Васильевич закончил дискуссию экспериментальным исследованием вициналей в процессе роста кристалла квасцов, которое он выполнил вместе с Б. К. Бруновским [62]. Таков был метод Алексея Васильевича —

решающее слово всегда предоставлялось эксперименту.

На одном из научных семинаров возникла дискуссия о том, почему зерна поликристалла в шлифе часто имеют очертания пятиугольников. Высказывалось предположение, что зерна при свободном росте примут форму пентагонального додекаэдра. А. В. Шубников, однако, полагал, что пятиугольник — одно из сечений ромбического додекаэдра, наиболее вероятной формы свободно растущего зерна. К сожалению, не помню, кто решил спор расчетом, но Алексей Васильевич и Георгий Глебович применили метод прямого эксперимента. Из гипса были отлиты три сотни одинаковых гипсовых ромбододекаэдров. Несколько дней сотрудники лаборатории во дворе музея занимались делом, похожим на веселую детскую игру: ромбододекаэдры закатывались в глиняные шары разных .размеров.

Затем все шары были сложены в деревянный ящик и залиты алебастром. Так получилась модель беспорядочного расположения свободных зерен. К великой потехе окружающих два механика ручной пилой несколько дней распиливали полученный агрегат на слои толщиной 1,5—2 см, а Георгий Глебович фотографировал полученные срезы. Результат статистического исследования, подтвердивший идею А. В. Шубникова, был опубликован в [99].

Алексей Васильевич вообще любил статистику и часто прибегал к ней. В работе о закономерных сростках алюмокалиевых квасцов [73, 76] параллельность ребер маленького октаэдра на грани большого октаэдра оценивалась на глаз. Как проверить, какова здесь ошибка? Уединившись в своем кабинете и вывесив табличку «Входа нет», А. В. Шубников собственноручно начертил 6 больших треугольников и в центре каждого — маленький треугольник. На первом чертеже маленький треугольник был строго параллелен большому, на втором — повернут на 1°, на третьем — на 2° и т. д. Никому не показывая, он сфотографировал чертежи, уменьшив до размера наблюдавшейся реальной грани кристалла, и сам напечатал по несколько десятков копий. Испытуемый должен был из двух сотен чертежиков выбрать те, где стороны параллельны, причем число правильных ему не было известно. Испытанию подверглись все сотрудники лаборатории, и по статистическому результату было доказано, что человеческий глаз оценивает параллельность с точностью $\pm 1°$, т. е. глазомерная оценка закономерности срас.тания допустима. Сначала Алексей Васильевич велел мне подробно описать опыт и все его результаты. Конечно, в окончательном варианте статьи этот текст был полностью переработан им. Однако, публикуя статью, он поставил мою

фамилию на первое место, себя — на второе. При мне Г. Г. Леммлейн спросил его, не правильнее ли было бы поставить мою фамилию второй. Ответ Алексея Васильевича запомнился мне на всю жизнь: «Во-первых, — сказал он, — надо соблюдать алфавит, а, во-вторых, всегда надо давать дорогу молодым».

Огромная требовательность к ученикам и сотрудникам сочеталась у А. В. Шубникова с постоянной готовностью разъяснить непонятное. На это он никогда не жалел ни времени, ни сил.

Здесь надо рассказать о «Кристаллографическом университете». Когда в 1931 г. я поступила на физический факультет заочного отделения Ленинградского университета, Алексей Васильевич спросил меня: «Что, собственно говоря, хотите Вы изучать?» — «Конечно, все о кристаллах».—«Но ведь там этому не учат, — посетовал он, — нужно самостоятельно заниматься», — и тут же стал набрасывать для меня программу этих занятий, а к следующему дню написал подробный список тех дисциплин, которые надо изучить, чтобы понимать кристаллографию. Как жалею я, что этот список у меня не сохранился! В нем значилась физика, физическая химия, термодинамика, многое другое и «20 математик», среди них — аналитическая геометрия, дифференциальное и интегральное исчисление, векторная алгебра и векторный анализ, сферическая геометрия, математическая статистика, тензорное исчисление... Почему-то «Способ наименьших квадратов» числился в этом списке отдельно. Тогда же Алексей Васильевич вручил мне учебник аналитической геометрии и предложил к завтрашнему утру проработать первые десять страниц: «А с Вами вместе и я их повторю, мне это нужно», — добавил он. Так начались занятия, которые длились более двух лет и получили название «Кристаллографического университета». Ежедневно я должна была проработать 10 страниц, затем следовало живое обсуждение их с Алексеем Васильевичем и решение возможных кристаллографических задач.

К концу первого года к этим занятиям присоединился Г. Б. Бокий, имевший передо мной громадное преимущество — он уже окончил Горный институт. Ежедневно Г. Б. Бокий и я должны были отвечать урок. Я шла по программе А. В. Шубникова, проходя одну дисциплину за другой. Бокий тщательно излагал физическую химию по толстому учебнику Эггерта. Так мы дошли до термодинамики. «О, это наука такая ясная и логичная, я расскажу вам ее за 3 дня», — объявил А. В. Шубников. На второй день он остановился, поставив себе вопрос, и начал его глубоко разбирать. На завтра он снова вернулся к нему, на следующий

день тоже. В общем глубокий разбор термодинамики продолжался около трех месяцев.

Для Алексея Васильевича было характерно, что, добровольно взяв на себя труд по проведению этих занятий, он ни разу не пропустил и не отменил их, даже ни разу не опоздал. Пунктуальность, аккуратность, точность и четкость были присущи ему во всем. Расписание соблюдалось неукоснительно. У каждой вещи было свое место. Каждый из сотрудников знал свои обязанности, но в то же время А. В. Шубников заботился о том, чтобы каждый понимал и свою роль в общей задаче.

А. В. Шубников приходил в лабораторию в 9 час. утра. К этому времени все уже были на местах. У нас не было табеля, и никто не отмечал время прихода и ухода. Но опоздать на работу или прогулять было немыслимо, это никому не приходило в голову.

Замечательно было его умение устраивать праздники для сотрудников лаборатории — общую вылазку за город, поход в театр, празднование дня рождения кого-либо из сотрудников, веселое сборище в воскресенье, шуточное представление, сопровождаемое игрой Алексея Васильевича на гитаре. Первым помощником во всех затеях был, конечно, неистощимый заводила Г. Г. Леммлейн.

Хочется сказать еще несколько слов о том, как Алексей Васильевич приучал нас работать с научной литературой. Выше я говорила уже, что, приезжая из ФТИ, он сообщал о журнальных новинках. Тут же давались задания прочесть такую-то статью. Возражения о незнании языков не принимались во внимание, точнее говоря, их никто не решался высказать. Статью надо прочесть. И каждый знал, что через несколько дней профессор потребует представить ему точное изложение и критику статьи. Если же задумывался новый эксперимент, то Алексей Васильевич требовал прежде всего собрать литературу, причем сам показывал, в каких указателях или сводках отыскивать нужные работы. Однажды при таком поиске я натолкнулась на работу чешского автора начала XIX в. и решилась робко заметить, что не сумею прочесть статью на старинном чешском языке. «Возьмите словарь», — был короткий ответ. Спорить не пришлось.

С течением времени раз в две недели стали проводиться реферативные собрания, на которых заслушивались доклады о новостях литературы, а иногда и оригинальные сообщения. Реферативные собрания привлекали много гостей: кристаллографов из Горного института и из университета, физиков из ФТИ, минералогов из музея, В. Г. Хлопина с сотрудниками из Радиевого института.

В 1933 г. по инициативе и под редакцией Алексея Васильевича вышел первый сборник Трудов Кристаллографической лаборатории. Это было знаменательным событием, так как печатать статьи по кристаллографии в отечественной периодике было негде, специального журнала не существовало. Выпуски этих трудов послужили основой для создания впоследствии журнала «Кристаллография».

«Кристаллографический университет»

Г. Б. Бокий

По прошествии почти полувека я считаю, что мое научное мировоззрение сформировалось в основном благодаря организованным А. В. Шубниковым занятиям, которые мы в шутку называли «Кристаллографическим университетом».

Через несколько месяцев работы в лаборатории прикладной кристаллографии Ленинградского отделения Института прикладной минералогии Алексей Васильевич предложил мне начать повышать свою научную квалификацию, на что я охотно согласился. Занятия были организованы следующим образом. Каждый день за час до работы трое участников — А. В. Шубников, М. П. Шаскольская ия — собирались в кабинете у Алексея Васильевича и рассказывали друг другу то, что успевали прочитать вечером, после работы. Все занятия разбивались на три раздела и проводились по строгому плану. «Лекции» по математической кристаллографии читала М. П. Шаскольская, по физической кристаллографии — А. В. Шубников и химическая кристаллография была закреплена за мной. Термин «кристаллохимия» в те годы еще не вошел в широкое употребление. Тематика этого раздела была в основном посвящена физической химии с преимущественным вниманием к твердой фазе.

Каждый читал свою «лекцию» столько времени, на сколько хватало материала. Иногда это составляло 10 мин, иногда полчаса. Если случалось так, что у каждого оказывалось много материала (обычно после праздников), то последний — чаще всегр это был А. В. Шубников — откладывал свои лекции на другой день. Приоритет он всегда отдавал своим ученикам. К началу работы лаборатории занятия заканчивались. Во время чтения наших лекций каждому участнику давалось право прерывать докладчиков и задавать любое количество вопросов. Идея заключалась в том, что каждый из нас понимал весь

материал, который «преподавался» в «Кристаллографическом университете». Самые надежные знания, непосредственно связанные с избранным научным направлением, дал мне именно «Кристаллографический университет».

Эти занятия продолжались более двух лет, практически без пропусков. В Советском Союзе в то время не было такого высшего учебного заведения, которое давало бы кристаллографическое образование. Наш «университет» явился как бы прообразом кафедры кристаллографии.

В 1949 г. в Московском университете мною была организована кафедра кристаллографии и кристаллохимии с двумя специализациями: кристаллохимической на химическом факультете и кристаллографической — на геологическом. В 1953 г. А. В. Шубников организовал кафедру кристаллофизики на физическом факультете МГУ. М. П. Шаскольская возглавила кафедру кристаллографии в Московском институте стали.

Не могу не упомянуть и о тех семинарах, которые организовывал А. В. Шубников во всех возглавляемых им учреждениях. Каждый научный сотрудник обязан был несколько раз в год делать на этих семинарах сообщения о своей работе или выступать с рефератами интересных статей. Семинары для нас, «универсантов», были как бы практическими занятиями. Алексей Васильевич умел создать на них непринужденную атмосферу. Всем разрешалось задавать любые вопросы и выступать с любыми самыми абсурдными мнениями. В большинстве случаев такие мнения тут же и опровергались, что всегда вносило веселое оживление в работу семинаров. Однако какая-то доля из этих высказываний порождала новые идеи, а возможность фантазировать стимулировала творческое отношение к работе. Работать А. В. Шубников приучал нас с «выдумкой». Может быть, именно в этом и был залог научной и практической продуктивности его огромной школы.

Из повседневной жизни

Я. С. Желудев

Чем сильнее и ярче фигура, тем многообразнее и интереснее она предстает в воспоминаниях современников.

За многие годы совместной работы с А. В. Шубниковым мне довелось наблюдать его в разных ситуациях. Работать с Алексеем Васильевичем было приятно, хотя и не всегда легко. Как человек большой трудоспособности, выдержки, организованности и

дисциплины, он остро воспринимал отсутствие таких качеств у других, хотя и не всегда реагировал на это. Основой научного работника он всегда считал рациональное трудолюбие. По его мнению, настоящего научного работника нельзя оторвать от его работы.

В 1951 г. мне была поручена организация научных семинаров в лаборатории А. В. Шубникова. На этих семинарах присутствовал академик П. Л. Капица, бывший в то время сотрудником Института кристаллографии и «приписанный» к лаборатории А. В. Шубникова. Ни Алексей Васильевич, ни Петр Леонидович не выступали с докладами, но сообщения сотрудников слушали внимательно и охотно их обсуждали. Очень часто на таких семинарах Алексей Васильевич делился своими новыми идеями и заботами и тем обучал сотрудников и руководил их научной работой.

В середине 50-х годов Институт кристаллографии разросся настолько, что выпускавшиеся «Труды» не могли обеспечить своевременную публикацию научных работ его сотрудников. А. В. Шубников принял меры к организации специального журнала, и с января 1956 г. начал издаваться журнал «Кристаллография». Главным редактором его стал Алексей Васильевич, а мне предложили быть ответственным секретарем. Я с большой охотой согласился и проработал в редакции почти 11 лет. Помню, как много внимания уделял А. В. Шубников журналу — и содержанию статей и их оформлению. Создание нового журнала вдохновило его на написание многих научных работ. Например, в первом выпуске он поместил статью о тепловой деформации [210]. Алексей Васильевич не любил длинных и аморфных работ. Он часто говорил: «Любую статью можно сократить до любого объема». Предпочитая работы конкретные, написанные четким, ясным языком, он часто повторял: «Если статью не .понял читатель, то в этом виноват писатель».

Бывая в совместных командировках по нашей стране и за границей, я имел возможность наблюдать Алексея Васильевича довольно близко. Однажды, оказавшись с ним в гостинице в одном номере, я позавидовал его предусмотрительности, так как многое забыл взять с собой, В ответ на это Алексей Васильевич сказал, что от таких «забываний» легко избавиться, и показал приклеенные к внутренней стороне крышки его чемодана два списка: «Что должно быть в чемодане всегда» и «Что должно быть в чемодане во время командировки за границу». Я оценил и простоту решения, и детальность «разработки», включающей и кипятильник и даже нитки с иголкой.

А. В. Шубников обладал своеобразной способностью видеть

то, что многим видеть не дано. Однажды, проходя по улице Севастополя, я обратил его внимание на то, что через цветник одного из бульваров протоптана пешеходами дорожка, несмотря на поставленные заграждения, и посетовал на это. К моему удивлению, Алексей Васильевич, любивший зелень и цветы, меня не поддержал и сказал: «Ограждения бесполезны. Если где-либо дорожка протаптывается, то лучший способ бороться с „нарушением" — сделать по этому месту „законную" дорожку, так как ясно, что именно здесь она больше всего нужна».

В 1960 г. мы ездили в Лондон и остановились в гостинице «Эмбеси» на улице Бейсвотер, неподалеку от Советского посольства. В первый день Алексей Васильевич принял участие в коллективном осмотре города. На следующий день он решил осматривать город самостоятельно. Я опять провел целый день с нашими товарищами, бродя по улицам, осматривая памятники, здания, музеи. Вернувшись в номер, я застал Алексея Васильевича в добром настроении и рассказал ему об увиденном. Он внимательно выслушал, улыбнулся, одобрил наши маршруты и в заключение сказал: «Есть два способа осматривать новый город и жизнь в нем. Один использовали Вы, двигаясь по городу. Я предпочел другой: выбрал „пост наблюдения" на Бействотер, смотрел, как город и люди движутся мимо меня, и увидел, пожалуй, не меньше, чем Вы».

А. В. Шубникову не было чуждо ничто человеческое. Он любил цветы — в саду и в горшках, но не срезанные (!), умел профессионально сделать фотографии, любил живопись, поэзию, в частности Маяковского, музыку, хорошо играл на гитаре. Зачастую бывал прост и откровенен' до детской непосредственности. Вскоре после избрания А. В. Шубникова в действительные члены Академии наук сотрудники спросили у него, каковы были его личные ощущения после избрания. Алексей Васильевич рассмеялся и сказал: «Ощущения хорошие, но странные. Вот иду я и чувствую будто на груди у меня висит дощечка, на которой большими буквами написано „АКАДЕМИК"».

Таков был Алексей Васильевич Шубников, человек с незаурядным талантом ученого и яркими особенностями характера.

Во время эвакуации

Л. М. Беляев

26 октября 1941 г. в соответствии с планом эвакуации А. В.

Шубников был отправлен с Ярославского вокзала с предписанием прибыть в г. Казань. Приехав в г. Свердловск и остановившись у академика А. Е. Ферсмана, А. В. Шубников получил официальное предложение организовать лабораторию по изготовлению пьезокварцевых пластин. Приняв это предложение, он создал такую лабораторию и руководил ею до мая 1942 г., до переезда в с. Филатово, где разместилась эвакуированная из Москвы Кристаллографическая лаборатория.

Знакомство с Алексеем Васильевичем во внеслужебном плане у меня произошло в декабре 1941 г. в г. Свердловске. Закончив дела по эвакуации лаборатории из Москвы, я приехал в Свердловск и получил приют в семье Алексея Васильевича, которая жила в большой аудиторной комнате какого-то техникума. Перед уходом на работу мы обсуждали первоочередные дела на день. Алексей Васильевич уходил на работу очень рано. Если машины не было, он уходил в 6 час утра и шел пешком через весь город. Если была машина, то он задерживался до 7 час. Возвращался обратно довольно поздно вечером. После ужина, когда его семейство ложилось спать, мы начинали беседу о житье-бытье.

Еще до отъезда из Москвы в эвакуацию А. В. Шубников часто говорил, что наша столица не может и не должна быть сдана ни при каких условиях! Он верил в победу, был готов сам пойти в армию, но ясно сознавал, что важнее участвовать в выполнении оборонных заказов лаборатории. Во время этих бесед я узнал его биографию, этапы его научной деятельности: лаборатория Ю. В. Вульфа в МГУ и Университете им. А. Л. Шанявского, Свердловский университет, кристаллографический сектор Ломоносовского института в Москве. В свою очередь я рассказал собственную биографию человека, пришедшего в науку из рабочих-горняков.

А. В. Шубников переехал в с. Филатово из г. Свердловска в мае 1942 г. Для него уже был подготовлен отдельный дом, расположенный примерно в одном километре от лаборатории, где он поселился в женой и двумя младшими сыновьями Даром и Алексеем.[* Дар Алексеевич Шубников (1932—1979) —ихтиолог, специалист по исследованию сырьевых ресурсов Мирового океана. Алексей Алексеевич Шубников (р. 1938 г.) — ныне геолог.] В положенное время Алексей Васильевич приходил в лабораторию, проводил необходимые совещания, иногда прямо во дворе. Его всегда можно было узнать по белой полотняной панаме.

А. В. Шубников очень активно занимался работами на своем приусадебном участке, площадь которого была строго

разграничена для выращивания разных культур. В своем дневнике он записывал все относящееся к огороду: количество посаженных корней, количество всходов и т. п. Он с точностью называл их число и гордился хорошим урожаем, которого хватало на всю зиму. Дом отапливался двумя печами, для освещения использовались керосиновые лампы, изготовленные Алексеем Васильевичем из пробирок.

С этого трудного и памятного периода жизни наши отношения с А. В. Шубниковым стали более простыми и теплыми.

О роли А. В. Шубникова в моей научной работе

П. Г. Поздняков

По окончании Московского энергетического института (МЭИ) в 1939 г. определились мои технические интересы — кварцевая стабилизация частоты — и я искал возможность найти работу в этой области. Мне посоветовали обратиться к А. В. Шубникову — организатору и научному руководителю Центральной научно-исследовательской лаборатории (ЦНИЛ) Треста № 13. Здесь и состоялось мое первое знакомство с А. В. Шубниковым. Я был ему рекомендован сотрудником ЦНИЛ А. И. Шиловым, с которым я учился в одной группе в МЭИ. А. И. Шилов поступал в аспирантуру МЭИ и предлагал мне занять его должность в ЦНИЛ. А. В. Шубников внимательно меня выслушал, поинтересовался моей биографией и научно- техническими интересами. Вопросов он задал немного и сказал, что я подхожу для работы в ЦНИЛе.

А. В. Шубников предложил мне заняться самообразованием, преимущественно в области кристаллографии и техники обработки кристаллов. Он потребовал освоить приемы ориентировки, резки и шлифовки кристаллов с тем, чтобы уметь изготовлять пьезоэлементы. Меня это нисколько не испугало, так как я с детства был приучен к столярным, слесарным и монтажным работам. Я с интересом взялся за освоение квалификации «кварцевика», как называли специалистов по производству кварцевых резонаторов. При посещении лабораторий А. В. Шубников всегда расспрашивал о прочитанной литературе. Он разрешил мне пользоваться библиотекой в его кабинете, нередко приносил книги из дома, убедившись в том, что я их охотно и с пользой читаю. У меня сохранился экземпляр литографированного издания лекций по кристаллографии, вышедших в 1923 г. в Екатеринбурге, с автографом А. В. Шубникова.

Во время работы в радиогруппе ЦНИЛа задача с излучателем для ультразвукового дефектоскопа не давала мне покоя. Я чувствовал, что от успеха этой работы зависит доверие А. В. Шубникова ко мне как к специалисту. Наблюдая прохождение ультразвука через преграды различной волновой длины, я обратил внимание на то, что узконаправленный пучок ультразвуковых волн не искажается и практически не ослабляется после прохождения через кварцевую пластину, толщина которой была близка к половине звуковой волны. Решение задачи возникло тотчас же — излучатель должей состоять из двух наложенных друг на друга кварцевых пластин различной частоты. На другой день я демонстрировал новый излучатель, который попеременно можно было возбуждать то на одной,, то на другой частоте. Алексей Васильевич остался очень доволен, искренне радовался успеху, смеялся тому, что простое решение никому не приходило в голову. Я успешно и в срок сдал тему заказчику.

Скоро я включился в весь комплекс исследований по пьезокварцу. С А. В. Шубниковым у меня начали складываться деловые отношения, характеризующиеся взаимным доверием. Считая, что у меня уже имеются некоторые интересные результаты, он настоятельно рекомендовал публиковать их или делать заявки на изобретения, чтобы закрепить свой приоритет. Много позже я последовал его советам и, думаю, что именно с его легкой руки мне было присуждено звание Заслуженного изобретателя. Считаю, что два с небольшим года непосредственной работы и общения с А. В. Шубниковым оказали на меня большое влияние и окончательно определили мою научную судьбу.

Наблюдая за взаимоотношениями А. В. Шубникова с сотрудниками, я замечал, что он мог работать с двумя совершенно разными категориями людей. К первой относились сотрудники-исполнители, работавшие в точном соответствии с его указаниями, ко второй — сотрудники творческого плана. В последнем случае А. В. Шубников давал им полную свободу действий. Если мнения по проблеме совпадали, Алексей Васильевич активно включался в работу с полной самоотдачей, не гнушаясь никакой работой. Если мнения расходились, он не мешал человеку ' в работе, относился всегда лояльно, считая, что конечный результат даст ответ, кто был прав.

А. В. Шубников был крайне щепетильным в отношении вопроса авторства и никогда не приписывал свою фамилию к работам сотрудников, если не был непосредственным участником исследований.

В беседах с сотрудниками А. В. Шубников часто рассказывал

о своей прошлой жизни: о его работе в научных учреждениях за рубежом, встречах с учеными, об эпизодах в период прохождения военной службы. Нападение фашистов на Европу серьезно беспокоило Алексея Васильевича. Он, перенесший ужасы первой мировой войны, боялся, что война затронет и нашу страну, принеся неисчислимые бедствия.

В 1940 г. я был командирован на Петергофский завод технического камня, на котором был и кварцевый цех по производству резонаторов, руководимый Н. Г. Козулиным. Моя миссия заключалась в том, чтобы ознакомить петергофских кварцевиков с методами использования маломерного кварца, в частности с методом непосредственной распиловки таких кристаллов на пластины косых срезов с малым температурным коэффициентом частоты, которые в конце 30-х годов широко использовались. Я был встречен с недоверием, так как видимо производил впечатление «зеленого» специалиста. Н. Г. Козулин, который был старше меня, недвусмысленно дал понять, что они, производственники, тоже ведут подобные работы и имеют свои достижения в этой области. После осмотра производства я убедился, что используемые методы далеки от метода А. В. Шубникова. Со мной было приспособление для установки кристаллов в нужное положение на суппорт распиловочного станка, и я предложил опробовать метод Шубникова. Опыт прошел успешно. Были разрезаны два мелких кристалла, и я отшлифовал и проверил несколько пластин. Метод показа, который применял А. В. Шубников, действовал безотказно и в моем исполнении, и отношение ко мне резко изменилось. В скором времени Н. Г. Козулин, как.всегда элегантно одетый, с цветным платочком в кармане пиджака, приехал в ЦНИЛ, чтобы ознакомиться с новинками технологии кварцевого производства. После этого наши взаимоотношения были неизменно дружественными.

Началась Великая Отечественная война. Решение об эвакуации в 1941 г. Кристаллографической лаборатории Алексей Васильевич переживал очень остро, так как нужно было прерывать его работы, связанные с организацией производства кристаллов, с делом, которому он отдал немало лет своей жизни. Алексей Васильевич замкнулся в себе, был подавлен и как-то холодно, как нам казалось, здоровался с нами и неохотно говорил о делах. Война разлучила нас до 1948 г. Вернувшись после войны в Москву на свой завод, я стал главным инженером. А. С. Шеин был заместителем директора по новым разработкам, а А. В. Шубников — научным руководителем завода. При нашей первой встрече А. В. Шубников сказал, что в трудных случаях, когда

потребуется его помощь, он ее окажет, но быть «нянькой» не собирается. «Приходите всегда, когда я нужен, но учтите, что у меня сейчас забот много».

Еще в эвакуации, в Ташкенте, я пристрастился к выращиванию кристаллов, которое для меня стало чем-то вроде «хобби». Одно время у меня возникло желание целиком отдаться делу роста кристаллов. Но старая страсть к резонаторам оказалась сильнее. А. В. Шубников иногда находил время, чтобы, приходя на завод, посмотреть, как растут кристаллы. Смотрел он на них с жадностью и, как мне казалось, с завистью, так как зрелище растущих кристаллов (а они росли большие и красивые) не могло оставить равнодушным никого, а тем более такого знатока кристаллов, каким был Алексей Васильевич. Он нередко приводил с собой студентов МГУ и аспирантов, чтобы показать рост кристаллов в производстве. Когда я опять вернулся к работе с кварцевыми резонаторами, снова возникли контакты с А. В. Шубниковым. Мне удалось с помощью Е. В. Цинзерлинг наладить в небольшом масштабе «раздвойниковывание» кварца и использовать его в резонаторах.

В ЦНИЛП я с А. А. Штернбергом самовольно организовал выращивание кварца, за что получил нагоняй от руководства. Но начало было положено. Вскоре был выращен первый небольшой кристалл, из которого вырезали несколько пластин для доказательства того, что проблему искусственного выращивания кварца можно решить.

Решение о постройке опытного завода для роста кристаллов кварца было наконец принято. В 1954—1955 гг. я уже испытывал кристаллы, выращенные на этом заводе. Встречи с А. В. Шубниковым становились реже, но более интересными и теплыми. Несколько раз я бывал у него дома и засиживался с ним допоздна. Строгий и даже суховатый в служебной обстановке, дома Алексей Васильевич был иным — много говорил, показывал статьи, книги, был очень оживлен и гостеприимен. Это превращение было для меня неожиданным и открывало его с другой, совершенно непохожей стороны. От научных тем он охотно переходил на общественные или житейские, обсуждал некоторые философские вопросы.

Мы, сотрудники, работавшие под руководством А. В. Шубникова и называвшие его между собой ласковым именем Алеша, навсегда сохранили в памяти сложный, казавшийся иногда противоречивым, образ этого незаурядного человека. За его немногословностью, сдержанностью, педантичностью иногда открывались совершенно другие черты — темперамент, одержимость, а самое главное — доброта и благожелательность.

Основные даты жизни и деятельности А. В. Шубникова

1887 — 17(29) марта в Москве родился Алексей Васильевич Шубников.

1906 — окончил Коммерческое училище с серебряной медалью и получил звание «кандидата коммерции».

1913 — окончил физико-математический факультет Московского университета с дипломом первой степени.

1914 — призван в действующую армию в чине прапорщика.

1915—1918 — химик на военном заводе взрывчатых веществ.

1919 — вернулся на работу в Университет им. А. Л. Шанявского.

1920 — переехал в Екатеринбург (ныне Свердловск) для работы в Уральском госуниверситете.

1925 — утвержден профессором по кафедре кристаллографии. Переехал на работу в Ленинград.

1933 — избран членом-корреспондентом АН СССР.

1934 — присуждена степень доктора геологических наук без защиты диссертации.

1934 — в Москве возглавил кристаллографический сектор Ломоносовского института АН СССР.

1937 — 15 ноября сектор преобразован в самостоятельную Кристаллографическую лабораторию, возглавляемую А. В. Шубниковым.

1941 — 1943 — лаборатория находилась в эвакуации в Свердловской области.

1944 — Кристаллографическая лаборатория преобразована в Институт кристаллографии АН СССР, директором которого стал А. В. Шубников.

1945 — награжден орденом Трудового Красного Знамени в связи с 220-летием Академии наук СССР. Избран Почетным членом Английского минералогического общества.

1947 — избран членом Французского минералогического общества.

1947 — 6 июня присуждена Государственная премия 2-й степени за монографию «Пьезоэлектрические текстуры».

1950 — 4 марта присуждена Государственная премия 3-й степени за руководство работой по искусственному корунду.

1953 — избран академиком по Отделению физико-математических наук АН СССР. Возглавил кафедру кристаллографии и кристаллофизики МГУ. Награжден орденом

Ленина за безупречную и долголетнюю работу в Академии наук СССР. Избран депутатом Московского Совета депутатов трудящихся и проработал два созыва.

1955 — 29 июля утвержден главным редактором журнала «Кристаллография»; проработал в этой должности до 1968 г.

1956 — присуждена малая золотая медаль ВДНХ за создание приборов по растровой оптике.

1962 — награжден орденом Трудового Красного Знамени.

1962 — освобожден от должности директора Института кристаллографии с оставлением заведующим лабораторией поисковых исследований того же института.

1967 — присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением второго ордена Ленина и медали Золотая Звезда.

1970 — 27 апреля умер в Москве.

Медали

1. За доблестный труд в период Великой Отечественной войны.
2. За оборону Москвы.
3. В честь 220-летия АН СССР.
4. В честь 800-летия Москвы.
5. Малая золотая медаль ВДНХ.
6. За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина.
7. В память 50-летия Советской власти.
8. Медаль М. В. Ломоносова.
9. Медаль в память Р. Ж. Аюи, присужденная III конгрессом международного Союза кристаллографов.
10. Медаль в память 250-летия Минералогического музея им. А. Е. Ферсмана.
11. Медаль Государственной премии 2-й степени.
12. Медаль Государственной премии 3-й степени.

Труды А. В. Шубникова *

** Список трудов А. В. Шубникова заимствован из книги [350].*

1908

1. Самодельная паяльная лампа. — Физик-любитель, т. 4, № 15, (ЛЬ 55), стб. 453, 454.

2. Как сделать гейслеровы трубки без помощи воздушного насоса. — Физик-любитель, т. 4, № 16 (ЛЬ 56), стб. 483—486.

3. Лейденская банка без внутренней обкладки. — Физик-любитель, т. 4, № 16 (ЛЬ 56), стб. 486.

1909

4. Приготовление небольших свинцовых шаров. — Физик-любитель, т. 6, ЛЬ 4, 5 (ЛЬ 84, 85), стб. 144.

5. Самодельные приборы по электростатике и опыты с ними (электроскоп; опыты с электроскопом; опыты со струей воды; электрофор; электрическая иллюминация).—'Физик-любитель, т. 6, №8, 9 (ЛЬ 88, 89), стб. 265—272.

6 Озонатор. — Физик-любитель, т. 6, ЛЬ 10, 11 (ЛЬ 90—91), стб. 326— 329.

7. Гейслеровы трубки. — Физик-любитель, т. 6, № 10, И (ЛЬ 90, 91), стб. 329, 330.

8. Трубки Крукса и Рентгена. — Физик-любитель, т. 6, № 10, И (ЛЬ 90, 91), стб. 330.

9. Самодельная электрофорная машина (Фосса) и опыты с нею. — Физик-любитель, т. 6, № 10, 11 (ЛЬ 90, 91), стб. 329—336.

1911

10. Ober die Symmetric der Kristalle von Kaliumdichromat. — Z. Kristallogr., Bd 50, N 1, S. 19—23.

1913

11. Влияние степени пересыщения раствора на внешний вид выпадающих из него кристаллов квасцов. — Изв. Имп. АН. Сер. 6, т 7 ЛЬ 14 с. 817—828.

1914

12. Einfluss der Ubersattigung der Losung auf die Tracht der Alaunkristalle. — Z. Kristallogr., Bd 53, N 5, S. 443, 444.

13. Ober den Einfluss der Temperaturschwankungen auf die Bildung der Kristalle. — Z. Kristallogr., Bd 54, N 3, 4, S. 261—266.

14. Uber die Beziehung zwischen Wachstumgeschwindigkeit und ausserer

Symmetric der Kristalle. — Z. Kristallogr., Bd 54, N 3, 4,

S. 267—272.

1916

15. К вопросу о строении кристаллов. 1. — Изв. Имп. АН. Сер. 6, т. 10, № 9, с. 755—779.

1918

16. Влияние колебаний температуры на кристаллы.—ЖРФХО, Физ. отд., т. 50, вып. 1—3, с. 39—44.

1919

17. Зависимость скоростей роста кристаллических граней от величины кристаллов. — Изв. Рос. АН. Сер. 6, т. 13, № 16—18, с. 1135—1142.

1920

18. Практические занятия по геометрической кристаллографии со стереографической сеткой. Екатеринбург. 65 с.

19. Основные законы геометрической кристаллографии: Первый

выпуск лекций по кристаллографии, читанных в Уральск, горн, ин-те в 1920 г. Екатеринбург. 28 с.

20. Геометрическая теория роста кристаллов. — Изв. Уральск, гос. ун-та, т. 1, с. 33—47; То же. — Изв. Горн, ин-та Уральск, гос. ун-та, № 5, с. 1 —15.

21. Кристаллы салола с кривыми гранями/ Совместно с С. Г. Мокрушиным. — Изв. Уральск, гос. ун-та, т. 2, с. 1 —10.

1922

22. Основной закон кристаллохимии. — Изв. Рос. АН. Сер. 6, т. 16, № 1 — 18, с. 515—524.

1923

23. Кристаллография: Лекции для студентов горного фак-та Уральск, гос. ун-та. Екатеринбург. 350 с.

1924

24. Практический курс геометрической кристаллографии со стереографической сеткой / Совместно с Ю. В. Вульфом. М.; Пгр. 60 с.

25. К вопросу о заполнении пространства многогранниками без промежутков. — Зап. Всерос. минерал, об-ва. Сер. 2, ч. 53, вып. 1, с. 193— 198.

26. Новый прибор для приготовления плоскопараллельных кристаллических пластинок, призм, клиньев и пр. — Тр. Ин-та прикл. минерал, и петрогр: Новые приемы обработки камня. I. Вып. 10, с. 18—21.

27. Дисковая пила для разрезания небольших камней. — Тр. Ин-та

прикл. минерал, и петрогр.: Новые приемы обработки камня. II. Вып. 10, с. 22—24

28. Употребление свинцовой пластины для доводки шлифов

горных пород. — Тр. Ин-та прикл. минерал, и петрогр.: Новые приемы обработки камня. III. Вып. 10, с. 25—26.

1926

29. Статистический метод в применении к изучению внешней формы кристаллов / совместно с О. М. Шубниковой. — Изв. АН СССР. Сер. 6, т. 20, № 5, 6, с. 363—384.

30. Определение направления оптической оси в гальке кварца. — ДАН СССР, А, январь, с. 12—14.

31. Статистическое исследование вициналей октаэдра квасцов / Совместно с О. М. Шубниковой. — Тр. Минерал, музея АН СССР, т. 1, с. 1—34.

32. О явлениях, наблюдаемых при сверлении пластинок из хрупкого материала. — Природа, № 5, 6, стб. 95—96.

33. Юрий Викторович Вульф. — Природа, № 1,2, стб. 5—8.

34. О сочетаниях правильных систем фигур на плоскости. I. — Изв. АН СССР. Сер. 6, т. 20, № 12, с. 1171 — 1180.

1927

35. О сочетаниях правильности систем фигур на плоскости. II. — Изв АН СССР. / Сер. 6, т. 21, № 3, 4, с. 177—184.

36. Об ортотропизме роста кристаллов / Совместно с. Г. Г. Леммлейном. —ДАН СССР, А, № 4, с. 61—64.

37. Новая рентгеновская трубка для исследования кристаллов. — ДАН СССР, А, № 24, с. 408.

38. Шлифовка сферических поверхностей вращающейся трубкой. — Тр. Минерал, музея АН СССР, т. 2, 125—130.

39. Муар. — Природа, № 2, стб. 83—88.

40. Гармония в природе и искусстве. — Природа, № 7, 8, стб. 609—622.

41. Браве. — В кн.: БСЭ, 1-е изд., т. 7, с. 279, 280.

42. Beobachtungen iiber der Orthotropie des Kristallwachstums / Совместно с Г. Г. Леммлейном. — Z. Kristallogr., Bd 65, N 3 4 S. 297—303.

1928

43. О пьезоэлектричестве аморфных и кристаллических тел в электрическом поле / Совместно с Б. К. Бруновским. — Изв. АН СССР. Сер. 7. Отд-ние физ.-мат. наук, № 4, 5, с. 367—374.

44. Ober die Bohrfiguren im Glimmer. — Z. Kristallogr., Bd 66 N 3 4

S. 434—440. ' '

45. Die Kristallisation auf der Oberflache der Schmelze / Совместно с Г. Г. Леммлейном. — Z. Kristallogr., Bd 67, N 2, S. 329—338.

1929

46. О природе вицинальных граней октаэдра квасцов: Ответ

О. М. Аншелесу / Совместно с О. М. Шубниковой. — Зап. Всерос. минерал, об-ва, ч. 58, № 1, с. 143—149.

47. Минералы для оптических целей и точных приборов. — В кн.: Нерудные ископаемые. Л., т. 4, с. 73—78.

48. Ober den Effekt beim Aufeinanderlegen zweier regelmassiger Figurensysteme. — Z. Kristallogr., Bd 69, N 5, 6, S. 503—510.

49. Ein neuer Kristallziichtungsapparat. — Z. Kristallogr., Bd 69, N 5, 6, S. 516—518.

50. Ober die Symmetric des Kontinuums. — Z. Kristallogr., Bd 72, N 3, S. 272—290.

51. Пат. № 11719 (СССР). Описание терморегулятора. — Вести. Ком. по делам изобр. № 8, 9.

1930

52. О кристаллизации на поверхности расплава / Совместно с Г. Г. Леммлейном. — Наук. зап. цукровоТ пром., т. 9, вып. 3,

4, с. 349—354.

53. Зависимость частоты колебаний пьезокварцевых пластинок от способа их шлифовки. — ЖПФ., т. 7, вып. 4, с. 21—23.

54. Простейший способ определения электрических осей в гальке кварца. — Природа, № 2, стб. 204—206.

55. Ober die Symmetric des Semikontinuums. — Z. Kristallogr., Bd 73, N 3, 4, S. 430—433.

56. Ober Schlagfiguren des Quarzes. — Z. Kristallogr., Bd 74, N 1,

5. 103—104.

57. Пат. № 14849 (СССР). Описание способа нахождения оптической и электрической осей в гальке кварца / Совместно с Г. Г. Леммлейном. — Вести. Ком. по делам изобр. № 3.

1931

58. Руководство к изготовлению пьезокварцевых препаратов / Под общим рук. А. В. Шубникова при участии М. Н. Абазы, В. З. Бульванкера, Л. С. Генераловой, Г. Г. Леммлейна и др. Л. 55 с.

59. Простейший универсальный столик для оптического исследования кристаллов. — Минеральное сырье, т. 6, № 10, И, с. 1018— 1020.

60. О работе на дисковых алмазных пилах для стекла и камня. — Оптико-механическая пром-сть, № 4, 5, с. 14—17.

61. Ober die Symmetric der Kristalle von Kaliumdichromat. — Z. Kristallpgr., Bd 76, N 4, 5, S. 469—472.

62. Ober die Natur der Vizinalflachen des Oktaeders des Aluminiumalauns / Совместно с Б. К. Бруновским. — Z. Kristallogr., Bd 77, N 3, 4, S. 337—345.

63. Ober eine neue photographische Methode der Kristalluntersuchung. — Z. Kristallogr., Bd 78, N 1—2, S. 111 — 135.

1932

64. Кристалл как непрерывная среда. — Изв. АН СССР. Сер. 7, Отд-ние мат. и естеств. наук, № 6, с. 799—815.

65. Метод отмучивания наждаков трубкой и микрофотографическое сравнение минутников различных марок. — Минеральное сырье, т. 7, № 2—4, с. 52—59.

66. Вторая модель универсального столика для оптического исследования кристаллов. — Минеральное сырье, т. 7, № 2—4, с. 60—63.

67. Отмучивание наждаков трубкой. — Оптико-механическая пром-сть, № 3(8), с. 6—8.

68. Ober die Schlag und Druckfiguren und iiber die mechanischen Quarzzwillinge / Совместно с Е. В. Цинзерлинг. — Z. Kristallogr., Bd 83, N 3, 4, S. 243—264.

69. А. с. № 25199 (СССР). Описание способа использования двойниковых пьезокварцевых препаратов как вибраторов в переменном электрическом поле / Совместно с С. А. Тизенгаузеном. — Вести. Ком. по делам изобр., № 2.

1933

70. Учение о симметрии как основной метод естествознания. — В кн.: Труды ноябрьской юбилейной сессии АН СССР. Л., с. 181 — 193.

71. Кристалл как непрерывная среда. — ЖФХ., т. 4, вып. 2, с. 231—245.

72. О фигурах удара и давления и о механических двойниках кварца / Совместно с Е. В. Цинзерлинг. — Тр. Ломоносовск. ин-та геохим., кристаллогр. и минерал. Кристаллогр. сер., вып. 3, с. 5—23.

73. Об искусственном получении закономерных сростков кристаллов алюмокалиевых квасцов / Совместно с М. П. Шаскольской. — Тр. Ломосовск. ин-тагеохим., кристаллогр. и минерал. Кристаллогр. сер., вып. 3, с. 51—66.

74. О «пластичности» кварца / Совместно с Е. В. Цинзерлинг. — Тр. Ломоносовск. ин-та геохим., кристаллогр. и минерал. Кристаллогр. сер., вып. 3, с. 51—66.

75. О хрупкости и пластичности кварца. — Природа, № 2, с. 10—17.

76. Ober die kiinstliche Herstellung regelmassiger Kristallverwachsungen des Kalialauns / Совместно с М. П. Шаскольской. — Z. Krisiallogr., A, Bd 85, N 1, 2, S. 1 — 16.

77. Ober die Plastizitat des Quarzes / Совместно с Е. В. Цинзерлинг. — Z. Kristallogr., A, Bd 85, N 5, 6, S. 454—461.

78. Пер.: Дебай П. Звуковые волны как дифракционная решетка. — Природа, № 3, 4, с. 131 —132.

79. Ред.: Труды Ломоносовского ин-та геохимии, кристаллографии и минералогии. Кристаллогр. сер., вып. 3. 74 с.

1934

80. Selbstschreibendes Pendelsklerometer. — Z. Kristallogr., A, Bd 84, N 6, S. 499—502.

81. Untersuchung der Vizinalflachen des Alaunoktaeders wahrend der Kristallisation. — Z. Kristallogr., A, Bd 88, N 4, S. 336—342.

82. Vorlaufige Mitteilung iiber die Messung der sogennanten Kristallisationskraft. — Z. Kristallogr., A, Bd 88, N 5, 6, S. 466—469.

83. О достижениях кристаллографического сектора в области техники. — В кн.: Тез. докл. на декабрьской сессии АН СССР. Л. 7 с.

84. Заметки о полировке стекла и камня: 1. Полировка камня на матовом стекле. 2. Полировка камня на матовом стекле с графитовой сеткой. 3. Полировка камня на матовом стекле с клеевой сеткой. 4. Полировка на бумаге. — Новости техники, № 15. 414 с.

85. Семьдесят научных работ: О работе кристаллографического сектора Ломоносовск. ин-та геохим., кристаллогр. и минерал. — Газ. «За Социалистическую науку», № 13, 10 мая.

1935

86. Как растут кристаллы. М.; Л. 75 с.

87. Исследование вицинальных граней октаэдра квасцов в процессе роста кристаллов. — Тр. Ломоносовск. ин-та геохим., кристаллогр. и минерал. Кристаллогр. сер., вып. 6, с. 5—11.

88. Предварительные опыты измерения так называемой кристаллизационной силы. — Тр. Ломоносовск. ин-та геохим., кристаллогр. и минер. Кристаллогр. сер., вып. 6, с. 17—21.

89. О тождестве химической трехкомпонентной фазовой диаграммы и гномонической проекции кристаллов. — Тр. Ломоносовск. ин-та геохим., кристаллогр. и минерал. Кристаллогр. сер., вып. 6, с. 23—24.

90. Саморегистрирующий маятниковый склерометр. — Тр. Ломоносовск. ин-та геохим., кристаллогр. и минерал. Кристаллогр. сер., вып. 6, с. 61—65.

91. Определение осей в гальке кварца / Совместно с В. З. Бульванкером, Г. Г. Леммлейном, С. А. Тизенгаузеном и Е. В. Цинзерлинг. — Тр. Ломоносовск. ин-та геохим., кристаллогр. и минерал. Кристаллогр. сер., вып. 6, с. 67—80.

92. Исследование абразивных свойств шлифующих порошков / Совместно с Г. Г. Леммлейном и Е. /С- Вандер-Флит. М.; Л. 16 с; Тр. Ин-та прикл. минералог., вып. 69, с. 3—16.

93. А. с. № 41373. (СССР). Описание станка для шлифовки

шаров / Совместно с Б. В. Витовским. — Вести. Ком. по делам изобр., № 1.

94. Вырезывание симметричных фигур из бумаги. — Наука и жизнь, № 7, с. 29(541)—35(547).

95. Ред.: Хевеши Г. и Александер Э. Применение рентгеновых лучей в химическом анализе / Пер. Г. А. Котляра. Л. 76 с.

96. Ред.: Труды Ломоносовск. ин-та геохимии, кристаллографии и минералогии. Кристаллогр. сер. / Совместно с Г. Г. Леммлейном. Вып. 6. 84 с.

1936

97. Уравнение «двулистника» Б. Попова. — Тр. Ломоносовск. ин-та геохим., кристаллогр. и минерал. Кристаллогр. сер., вып. 8, с. 5—9.

98. О фигурах проворачивания и их возможном применении в вопросах строения материи. — Тр. Ломоносовск. ин-та геохим., кристаллогр. и минерал. Кристаллогр. сер., вып. 8, с. 23—44.

99. О наиболее вероятном числе сторон в произвольных сечениях ромбического додекаэдра / Совместно с Г. Г. Леммлейном. — Тр. Ломоносовск. ин-та геохим., кристаллогр. и минерал. Кристаллогр. сер., вып. 8, с. 45—50.

100. К вопросу о сущности процесса шлифовки и полировки, твердых тел. — Тр. Ломоносовск. ин-та геохим., кристаллогр. и минерал. Кристаллогр. сер., вып. 8, с. 71—93.

101. Новый «квадрант» для огранки драгоценных камней. — Тр. Ломоносовск. ин-та геохим., кристаллогр. и минерал. Кристаллогр. сер., вып. 8, с. 95—100.

102. Кристалл-индивидуум и кристаллическая среда. — В кн.: Академику В. И. Вернадскому к 50-летию научной и педагогической деятельности. М. Т. 1, с. 97—108.

103. Закон симметрии и кристаллохимия. — В кн.: Гассель О. Кристаллохимия: Доп. к пер. книги. Л., с. 190—197.

104. Парадоксы физики. Можно ли нагреть более холодным телом горячее? — Наука и жизнь, № 6, с. 54, 55.

105. Парадоксы физики: Закон Ома. — Наука и жизнь, № 10, с. 57, 58.

106. Технология агатовых изделий. — В кн.: Неметаллические ископаемые СССР. М.; Л., т. 1, с. 52—56.

107. Ред.: Гассель О. Кристаллохимия / Пер. и доп. Н. В. Белова. Л., 200 с.

108. Ред.: Труды Ломоносовск. ин-та геохимии, кристаллографии и минералогии. Кристаллогр. сер., вып. 6, 100 с. / Совместно с Г. Г. Леммлейном.

109. Предисл. к кн.: Гассель О. Кристаллохимия. Л., с. 5, 6. Совместно с Н! В. Беловым.

1937

ПО. Изоморфизм. — В кн.: Физ. словарь, т. 2, с. 451—454.

111. Кристаллография. — В кн.: БСЭ. 1-е изд. Т. 35, с. 135—165.

112. Кристаллохимический анализ. — В кн.: БСЭ, 1-е изд. Т. 35, с. 166— 167. Совместно с Е. Е. Флинтом.

113. Ред.: Ринне Ф. и Берек М. Оптические исследования при помощи поляризационного микроскопа / Пер. с нем. Р. А. Дулицкой. М. 332 с. / Совместно с Н. П. Песковым.

1938

114. А. С. № 52531. (СССР). Способ резки камней / Совместно с Б. В. Витовским и А. А. Сыромятниковым. — Бюл. изобр., № 1.

115. Парадоксы физики: Есть ли у магнита полюса? — Наука и жизнь, № 3, с. 96—98.

116. Чем это объяснить? — Техника молодежи, № 8, 9, с. 75.

117. Пересыщение. — В кн.: Физ. словарь, т. 4, стб. 108, 109.

118. Плеохроизм. — В кн.: Физ. словарь, т. 4, стб. 181 —182.

119. Рекристаллизация. — В кн.: Физ. словарь, т. 4, стб. 646—648.

120. Конспект лекций по пьезокварцу для инж.-техн. работников Треста № 13 / Сост. А. С. Покровским. М. 34 табл.

121. Ред.: Шмидт Е. и Боас В. Пластичность кристаллов, в особенности металлических / Пер. с нем. М. П. Шаскольской. М.; Л. 316 с.

1939

122. Пространственные калейдоскопы. — Тр. Лаб. кристаллогр. АН СССР, вып. 1, с. 3—8.

123. Прибор для графического решения задач на сфере. — Тр. Лаб. кристаллогр. АН СССР, вып. 1, с. 21—24.

124. Правило Ампера и симметрия мира. — Тр. Лаб. кристаллогр. АН СССР, вып. 1, с. 25—30.

125. Симметрия электромагнитного луча. — Тр. Лаб. кристаллогр. АН СССР, вып. 1, с. 31—34.

126. О фигурах травления кварца. — Тр. Лаб. кристаллогр. АН СССР, вып. 1, с. 43—50.

127. Прибор для точного определения оптической оси в кварце (конометр). — Тр. Лаб. кристаллогр. АН СССР, вып. 1, с. 51—56.

128. Прибор для точного определения осей кварца методом травленой ямки. — Тр. Лаб. кристаллогр. АН СССР, вып. 1, с. 57—63.

129. Пила-вибратор для камня / Совместно с Б. В. Витовским. — Тр. Лаб. кристаллогр. АН СССР, вып. 1, с. 65—66.

130. Механический способ массового изготовления

фронтальных линз / Совместно с Б. В. Витовским. — Тр. Лаб. кристаллогр. АН СССР, вып. 1, с. 73—78.

131. Ред.: Труды Лаборатории кристаллографии АН СССР. Вып. 1. 78 с. / Совместно с Г. Т. Кравченко, Г. Г. Леммлейном.

1940

132. Симметрия: Законы симметрии и их применение в науке, технике и прикладном искусстве. М.; Л. 176 с.

133. Кварц и его применение. М.; Л. 94 с.

134. Основы кристаллографии / Совместно с Е. Е. Флинтом и Г. Б. Бокием. М.; Л. 487 с.

135. Пироэлектрические явления. — В кн.: БСЭ, 1-е изд. Т. 45, с. 409, 410.

136. Пьезокварц. — В кн.: БСЭ. 1-е изд. Т. 47, с. 707, 708.

137. Пьезоэлектричество. — В кн.: БСЭ. 1-е изд. Т. 47, с. 708—710.

138. Кристаллические системы. — Тр. Лаб. кристаллогр. АН СССР, вып. 2., с. 3—5.

139. Тридцать девять видов точечной кристаллографической симметрии. — Тр. Лаб. кристаллогр. АН СССР, вып. 2, с. 7—11.

140. Об. энантиоморфизме граней простых форм. — Тр. Лаб. кристаллогр. АН СССР, вып. 2, с. 39—42.

141. О принципе отбора Гросса-Мёллера. — Тр. Лаб. кристаллогр. АН СССР, вып. 2, с. 119—121.

142. Расчетные данные к методу изготовления пьезокварцевых пластинок с нулевым температурным коэффициентом с помощью треноги, микрометра и уровня. — Тр. Лаб. кристаллогр. АН СССР, вып. 2, с. 179—184.

143. А. с. № 61964 (СССР). Способ укрупнения однокристаллических областей дофинейских двойников кварца / Совместно с Е. В. Цинзерлинг. — Бюлл. изобр., № 9, 10.

144. Ред.: Труды лаборатории кристаллографии АН СССР, вып. 2, 204 с./ Совместно с Г. Г. Леммлейном.

1944

145. Пьезоэлектрические текстуры / Реф. доклада на апрельской сессии отд-ния физ.-мат. наук. 1944 г. — Изв. АН СССР. Сер. физ., т. 8, вып. 3, с. 166—167.

146. Евграф Степанович Федоров. — Наука и жизнь, № 6, с. 41—42.

147. Пьезоэлектрические текстуры. — ДАН СССР, т. 45, № 5, с. 193— 197.

1945

148. Новое в учении о симметрии и его применении. — В кн.: Общее собрание Академии наук СССР 14—17 октября 1944 г. М.; Л.,

с, 212—227.

1946

149. Пьезоэлектрические текстуры. М.; Л. 100 с.

150. Атлас кристаллографических групп симметрии. М.; Л. 55 с.

151. Диссимметрия. — В кн.: Вопросы минералогии и петрографии. М.; Л., с. 158—163.

152. О законе геометрического отбора при образовании кристаллического агрегата. — ДАН СССР, т. 51, № 9, с. 679—681.

153. Образ А. Е. Ферсмана по личным впечатлениям. — Зап. Всесоюз. минерал, об-ва. Сер. 2, ч. 75, вып. 1, с. 73—77.

154. Построение бертеновских поверхностей. — В кн.: Акад. Д. С. Белянкину к 70-летию со дня рождения и 45-летию научной деятельности. М.; Л., с. 657—658.

1947

155. О многообразии элементов симметрии. — Тр. Ин-та кристаллогр. АН СССР, вып. 3, с. 3—7.

156. О числе простых форм различного наименования. — Тр. Ин-та кристаллогр. АН СССР, вып. 3, с. 9—10.

157. Образование кристаллов. М.; Л. 75 с.

1948

158. Тетартоэдрия Л. Пастера. — Тр. Ин-та кристаллогр. АН СССР, вып. 4, с. 3—11.

159. Рец.: Piezo-electricite / Ed. Palmans. Bruxelles, 1946. 161 p. — Новые книги за рубежом, № 1, апрель.

160. О числе и составе абстрактных групп, отвечающих 32 кристаллографическим классам / Совместно с Н. В. Беловым и Е. Н. Беловой. — ДАН СССР, т. 63, No 6, с. 669—672.

161. Рец.: Попов Г. М. и Шафрановский И. И. Кристаллография. М., 1948. — Сов. книга, Ns 5, с. 15—17.

1949

162. О симметрии векторов и тензоров. — Изв. АН СССР. Сер. физ.,

т. 13, № 3, с. 347—375.

163. А. с. № 72434 (СССР). Камертон с пьезоэлектрическим возбуждением / Совместно с А. С. Шеиным. — Бюлл. изобрет., Ns 1, 20.

164. Симметрия и геометрическая интерпретация двумерных полярных тензоров. — Изв. АН СССР. Сер. физ., т. 13, № 3, с. 376 — 391.

165. Пьезоэлектрический эффект в двойниках кварца. — Тр. Ин-та кристаллогр. АН СССР, вып. 5, с. 117—122.

166. Ред. пер. и предисл.: Кэди У. Пьезоэлектричество. М. 719 с.

167. Ред.: Федоров Е. С. Симметрия и структура кристаллов. М.; Л. 630 с.

1950

168. Оптическая кристаллография. М.; Л. 275 с.

1951

169. А. с. № 69603 (СССР). Способ получения высоких давлений, в частности при получении кристаллов / Совместно с А. П. Сизовым. — Бюлл. изобр., № 5.

170. Кристаллы в науке и технике. — Наука и жизнь, № 3, с. 25—28.

171. Может ли кристалл одновременно быть изотропным и анизотропным? — УФН, т. 44, вып. 1, с. 3—6.

172. Перспективы развития учения о симметрии. — В кн.: Кристаллография: Тр. Федоров, научн. сессии, 1949 г. М., с. 33—47.

173. Симметрия и антисимметрия конечных фигур. М. 172 с.

174. Колебания текстурных пьезоэлектрических пластинок из сегнетовой соли / Совместно с В. П. Константиновой. —ЖТФ, т. 21, вып. 3, с. 962—969.

1952

175. Автореф. книги «Оптическая кристаллография». — Тр. Ин-та кристаллогр. АН СССР, вып. 7, с. 203—210.

176. Об эффектах наложения сетчатых систем фигур друг на друга. — ЖТФ, т. 22, вып. 12, с. 2038—2060.

177. Кристаллография на службе народного хозяйства. — Природа, № 11, с. 77—79.

178. Рец.: Вульф Ю. В. Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. — Сов. книга, № 12, с. 16, 17.

179. Ред.: Мезон У. Пьезоэлектрические кристаллы. М. 447 с.

1953

180. Закон Максвелла для оптически анизотропных сред. — В кн.: Вопросы петрографии и минералогии, т. 2, с. 421—426.

181. О так называемой гомологии кристаллов. — ДАН СССР, т. 88, № 3, с. 453—456.

182. Основы современной кристаллографии по О. М. Аншелесу. — Зап. Всесоюз. минерал, об-ва, ч. 82, вып. 2, с. 147—150.

183. О законе эллипсоида по В. Б. Татарскому. — Зап. Всесоюз. минерал, об-ва, ч. 82, вып. 3, с. 235.

184. Д. Б. Гогоберидзе о механических двойниках кварца / Совместно с Е. В. Цинзерлинг. — Зап. Всесоюз. минерал, об-ва, ч. 82, вып. 2, с. 154.

185. Новое в растровой оптике. — Природа, № 6, с. 20—25.

186. Развитие кристаллографии. — Правда, 21 мая, № 141.

1954

187. Кристаллическая решетка. — В кн.: БСЭ. 2-е изд. Т. 23, с. 408—410.

188. Кристаллография. Кристаллооптика. Кристаллофизика. — В кн.: БСЭ. 2-е изд. Т. 23, с. 413—418.

189. Кристаллы. — В кн.: БСЭ. 2-е изд. Т. 23, с. 422—427.

190. Антисимметрия конечных фигур. — Тр. Ин-та кристаллогр. АН СССР, вып. 10, с. 5—12.

191. Что такое гомология кристаллов. — Тр. Ин-та кристаллогр. АН СССР, Вып. 9, с. 35—42.

192. Поправка к кн.: Симметрия и антисимметрия конечных фигур. — Тр. Ин-та кристаллогр. АН СССР, вып. 9, с. 383.

193. Ответ на ст.: Варданянц Л. А. Ревизия кубооктаэдрического двойникового закона алюмокалиевых квасцов. — Изв. АН Арм.ССР. Сер. физ.-мат., естеств. и техн. наук, 1952, т. 4, № 6. — Изв. АН Арм.ССР. Сер. физ.-мат., естеств. и техн. наук, т. 7, № 2, с. 83, 84.

194. Примеры использования идеи антисимметрии в науке. — Зап. Всесоюз. минерал, об-ва, ч. 83, вып. 2, с. 5—10.

195. Об одной традиционной ошибке и многообразии форм ее проявления. — Зап. Всесоюз. минерал, об-ва, ч. 83, вып. 4, с. 408—413.

196. Кристаллы — преобразователи энергии. — Знание — сила, N< > 3, с. 7.

197. Ред.: Труды Ин-та кристаллографии АН СССР: Докл. к 3-му Международному конгрессу кристаллографов, вып. 10. 408 с. / Совместно с Н. В. Беловым.

1955

198. Исследование пьезоэлектрических'текстур / Совместно с И. С. Желудевым, В. П. Константиновой и И. М. Сильвестровой. М.; Л. 189 с.

199. Об основном законе кристаллографии Е. С. Федорова: Материал к истории и психологии одной ошибки. — Тр. Ин-та кристаллогр. АН СССР, вып. И, с. 18—32.

200. О связи между морфологической и физической диссимметрией некоторых кристаллов / Совместно с В. С. Подиско. — Тр. Ин-та кристаллогр. АН СССР, вып. 11, с. 212—220.

201. Об определении понятия кристаллической однородности: По поводу определения, данного Н. В. Беловым и Г. Б. Бокием. — Зап. Всесоюз. минерал, об-ва, ч. 84, вып. 1, с. ПО —114.

202. О возможных и невозможных структурных модификациях алмаза. — Тр. Ин-та кристаллогр. АН СССР, вып. И, с. 5—17.

203. Плавающие кристаллы. — В кн.: Юбилейная науч. сессия, посвященная 200-летию ун-та: Тез. докл. физ. фак. М., с. 14.

204. Об отсутствии определенной связи между гомологией внешней формы кристаллов и гомологией индикатрис физических свойств кристаллов. — Зап. Всесоюз. минерал, об-ва, ч. 84, вып 1 с. 121, 122.

205. Письмо в редакцию. — Зап. Всесоюз. минерал, об-ва, ч. 84, вып 4 с. 516.

206. Пироэлектричество. — В кн.: БСЭ. 2-е изд. Т. 33, с. 84.

207. Плоская сетка. — В кн.: БСЭ. 2-е изд. Т. 33, с. 279.

208. Поликристаллические тела. — В кн.: БСЭ. 2-е изд. Т. 33, с. 538.

209. Пьезоэлектрический эффект. — В кн.: БСЭ. 2-е изд. Т. 35, с. 387.

1956

210. О некоторых особенностях тепловой деформации кристаллов. — Кристаллография, т. 1, вып. 1, с. 95—104.

211. Кристаллы в науке и технике. М., 48 с.

212. Кристаллы в науке и технике. — Вести. АН СССР, № 3, с. 37—52.

213. Кристаллы в науке и технике. — Природа, № 4, с. 9—23.

214. Могут ли существовать в природе такие кристаллы, которые по признакам симметрии относятся к одной сингонии, а по геометрическим константам — к другой? — Зап. Всесоюз. минерал, об-ва, ч. 85, вып. 1, с. 108—109.

215. Об отсутствии определенной связи между гомологией внешней формы кристаллов и гомологией их оптических индикатрис. — Кристаллография, т. 1, вып. 2, с. 245—247.

216. Памяти А. К. Болдырева: Кристаллограф и минералог; К 10-летию со дня смерти / Совместно с В. И. Михеевым и И. И. Шафрановским. — Кристаллография, т. 1, вып. 3, с. 267—270.

217. Об особенностях кристаллизации дифениламина. — Кристаллография, т. 1, вып. 3, с. 374—375.

218. Об одном интересном примечании редакции. — Тр. Ин-та кристаллогр. АН СССР, вып. 12, с. 205.

219. О работах Пьера Кюри в области симметрии. — УФН, т. 59, вып. 4, с. 591—602.

220. Вопросы по электростатике. — Физика в школе, № 2, с. 79.

221. Лекционный опыт для демонстрации ритмического роста кристаллов салола. — Кристаллография, т. 1, вып. 5, с. 606—607.

222. Ответ на замечания О. М. Аншелеса на нашу статью «Об одной традиционной ошибке и многообразии форм ее

проявления».— Кристаллография, т. 1, вып. 5, с. 614.

223. Симметрия (в кристаллографии). — В кн.: БСЭ. 2-е изд. Т. 39, с. 61—65.

224. Федоровские группы. — В кн.: БСЭ. 2-е изд. Т. 44, с. 577.

1957

225. Об образовании сферолитов. — Кристаллография, т. 2, вып. 3, с. 424—427.

226. О зародышевых формах сферолитов. — Кристаллография, т. 2, вып. 5, с. 584—589.

227. Вопросы, относящиеся к закону Ома. — Физика в школе, № 2, с. 81.

228. Элементарные механические явления при шлифовании и полировании. — В кн.: Качество поверхности деталей машин: Сб. М., № 3, с. 5—16.

229. Развитие кристаллографии за 40 лет. — Кристаллография, т. 2, вып. 5, с. 577—583.

230. Ред.: Рост кристаллов: Докл. на 1-м совещании по росту кристаллов. М. Т. 1. 375 с. / Совместно с Н. Н. Шефталем.

1958

231. Основы оптической кристаллографии. М. 205 с.

232. Кристаллы в науке и технике. 2-е изд. доп. М. 54 с.

233. Etude des textures piezoelectriques: Traduit du russe / Совместно с И. С. Желудевым, В. П. Константиновой и И. М. Сильвестровой. Paris, 207 p.

234. Антисимметрия текстур. — Кристаллография, т. 3, вып. 3, с. 263—268.

235. Ритмический рост сферолитов трифенилметана. — Кристаллография, т. 3, вып. 4, с. 499—501.

236. О собственной симметрии атомов и молекул в кристалле. — Кристаллография, т. 3, вып. 4, с. 521—524.

237. Образование кристаллов. 72 с. На китайск. яз.

238. Ред.: Вустер У. Практическое руководство по кристаллофизике / Пер. с англ. В. А. Копцика. М. 163 с.

239. Ред.: Growth of crystals / Transl. from the Russian. New York. Vol. 1. 294 p.

1959

240. Полная систематика точечных групп симметрии. — Кристаллография, т. 4, вып. 2, с. 286—288.

241. Симметрия и антисимметрия стержней и семиконтинуумов с главной осью бесконечного порядка и конечными переносами вдоль нее. — Кристаллография, т. 4, вып. 3, с. 279—285.

242. Ред.: Рост кристаллов. М. Т. 2. 239 с. / Совместно с Я. Я. Шефталем.

243. Ред.: Growth of crystals / Transl. from the Russian. New York Vol. 2. 178 p.

1960

244. Перспективы развития кристаллографии в свете решений XXI съезда КПСС. — Кристаллография, т. 5, вып. 1, с. 3—14.

245. Инверсия времени как операция .антисимметрии. — Кристаллография, т. 5, вып. 2, с. 328—333.

246. Об определении знака энантиоморфизма пьезоэлектрических текстур. — Кристаллография, т. 5, вып. 4, с. 644, 645.

247. Симметрия подобия. — Кристаллография, т. 5, вып. 4, с. 489—496.

248. Антисимметрия. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 1, с. 72, 73.

249. Асимметрия. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 1, с. 87.

250. Браве решетка. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 1, с. 208, 209.

251. Диморфизм. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 1, с. 560.

252. Principles of optical crystallography. Transl. from the Russian. N Y. 186 p.

253. Theses de la communication : la formation de cristaux. — Acta Crystallogr., vol. 13, pt. 12, p. 1077.

1961

254. О взаимно параллельном расположении дендритов хлористого аммония в капле раствора. — Кристаллография, т. 6, вып 2 с. 244—248.

255. Что теплее — растущий кристалл или питающая его маточная среда? — Кристаллография, т. 6, вып. 2, с. 315—316.

256. Симметрия и физические свойства пирамид роста. — Кристаллография, т. 6, вып. 3, с. 319—322.

257. О возникновении центров кристаллизации в капле раствора хлористого аммония под действием электрического поля / Совместно с В. Ф. Парвовым. — Кристаллография, т. 6, вып. 3, с. 443—450.

258. Полная систематика точечных черно-белых групп. — Кристаллография, т. 6, вып. 4, с. 490—495.

259. Выступление на 2-й конференции по росту кристаллов. — В кн.: Рост кристаллов. М., т. 3, с. 5, 6.

260. Выступление на общем собрании АН СССР. — Вести. АН СССР № 12, с. 61—62.

261. Проблема диссимметрии материальных объектов. М. 55 с.

262. Ред.: Рост кристаллов: Докл. на 2-м совещании по росту

кристаллов. Т. 3. 506 с. / Совместно с Н. Н. Шефталем.

1962

263 Группы (классы) симметрии и антисимметрии конечных лент. — Кристаллография, т. 7, вып. 1, с. 3—6.

264. Черно-белые группы бесконечных лент. — Кристаллография, т. 7, вып. 2, с. 181 —191.

265. Об отнесении всех кристаллографических групп симметрии к группам трехмерным. — Кристаллография, т. 7, вып. 3, с. 490—495.

266. Плавающие магниты и плавающие кристаллы. — Природа, N< > 3, с. 17—22.

267. Изоморфизм. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 2, с. 139, 140.

268. Инверсия. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 2, с. 170, 171.

269. Классы кристаллов. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 2, с. 386.

270. Кристаллизация / Совместно с А. А. Черновым. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 2, с. 523—526.

271. Кристаллическая структура. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 2, с. 530.

272. Кристаллография. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 2, с. 533.

273. Кристаллы. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 2, с. 538—541.

274. Кубическая система. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 2, с. 551.

275. Schools of X-ray structural analysis in the Soviet Union. — In: Fifty years of X-ray Diffraction. Utrecht, p. 495—497.

276. Piezoelectricke textury a perspektivy dalsiho rozvoje piezoelektfiny. — Ceskoslov. casop. fys., vol. 12, N 2, s. 172—174.

277. Autobiographical Data and Personal Reminiscences. — In: Fifty years of X-ray Diffraction. Utrecht, p. 647—655.

278. Ред.: Growth of crystals / Transl. from the Russian. New York. Vol. 3. 357 p.

279. Рец.: Handbuch der Physik. Bd 25/1. Kristalloptik. Berlin, 1961. На нем. яз. — Новые книги за рубежом, А, № 1, с. 55, 56.

280. Рец.: Kleber W. Einfiihrung in die Kristallographie. 4-е изд. Berlin, 1961. На нем. яз. — Новые книги за рубежом, А, № 8, с. 47 —49.

1963

281. О неполноте Единой схемы кристаллографических групп. — Кристаллография, т. 8, вып. 1, с. 131 —132.

282. Какая информация содержится в правильной системе

точек? — Кристаллография, т. 8, вып. 6, с. 943—944.

283. Рец.: Terpstra P., Codd L. W. Crystallometry. London, 1961. На англ. яз. — Новые книги за рубежом, № 3, с. 45—48.

284. Миллеровские индексы. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 3, с. 249.

285. Модификации кристаллов. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 3, с. 273.

286. Моноклинная система. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 3, с. 317.

287. Ось симметрии. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 3, с. 546.

288. Ортотропизм. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 3, с. 535.

289. Параллелоэдры. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 3, с. 584.

290. Параметры грани. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 3, с. 592.

1964

291. Рец.: Kleber W. Einfiihrung in die Kristallographie. Berlin, 1963. На нем. яз. — Новые книги за рубежом, А, № 5, с. 60—62.

292. О симметрии молекул бензола и родственных соединений. — ДАН СССР, т. 157, № 3, с. 586—588.

293. О гранях с нулевой скоростью роста на кристалле / Совместно с В. Ф. Парвовым. — Кристаллография, т. 9, вып. 3, с. 435.

294. О так называемой полной симметрии: Критика статьи И. С. Желудева. — Кристаллография, т. 9, вып. 4, с. 587.

295. Шариковая модель структуры кристаллов и аморфных тел. — Природа, № 10, с. 66—80.

296. В мире кристаллов / Совместно с Б. К. Вайнштейном, Б. Н. Делоне, М. В. Классен-Никлюдовой. — Неделя, № 17, с. 8, 9. (Пресс-конф.)

297. Colored Symmetry: Transl. from the Russian / Совместно с Н. В. Беловым и др. New York. 263 p.

298. Ред.: Рост кристаллов. М. Т. 4. 248 с./Совместно с Н. Н. Шефталем.

1965

299. Схема соподчинения кристаллографических точечных групп и сингоний. — Зап. Всесоюз. минерал, об-ва, ч. 94, вып. 3, с. 253—257.

300. Тридцать две кристаллографические группы, содержащие только повороты и антиповороты. — Кристаллография, т. 10, вып 6 с. 775—778.

301. Растровая модель обыкновенных и групповых волн. — Природа № 11, с. 61—67.

302. Рец.: Вуд Е. А. Кристаллы и свет. 1964. На англ. яз. — Новые книги за рубежом, А, № 3, с. 60—62.

303. Штрихи большой жизни. — В кн.: Александр Евгеньевич Ферсман: Жизнь и деятельность. М., с. 115—123.

304. Пирамиды роста. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 4, с. 5.

305. Плоскость симметрии. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 4, с. 45.

306. Плоскость скольжения. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 4, с. 45.

307. Полиморфизм. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 4, с. 102.

308. Пространственная решетка. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т 4 с. 225.

309. Пространственные группы. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т 4 с. 226.

310. Простые формы. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 4, с. 227.

311. Растворение кристаллов. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 4, с. 359, 360.

312. Ромбическая система. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 4, с. 451.

313. Ромбоэдрическая система. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 4, с. 451.

314. Симметрия кристаллов. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 4, с. 533.

315. Сингонии кристаллов. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 4, с. 534.

316. Скелетные формы кристаллов. — В кн.: Физ. энцикл. словарь т 4 с. 547.

317. Скользящее отражение. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 4, с. 549.

318. Слоистые решетки. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 4, с. 560.

1966

319. Смешанные кристаллы. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 4, с. 563.

320. Спирали Эри. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 5, с. 50.

321. Сферолиты кристаллов. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 5, с. 106.

322. Символы кристаллографические (международные). — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 5, с. 532, 533.

323. Трансляция. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 5 с. 196.

324. Федоровский столик. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 5,

с. 293, 294.

325. Центр симметрии. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 5, с. 391.

326. Элементарная ячейка. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 5, с. 521.

327. Эпитаксия. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 5, с. 534.

328. Ядра кристаллизации. — В кн.: Физ. энцикл. словарь, т. 5, с. 570.

329. Тридцать две кристаллографические группы, содержащие только повороты и зеркальные антиповороты. — Кристаллография, т. И, вып. 3, с. 363—367.

330. Световые волны с поперечными и продольными колебаниями. — Природа, № 6, с. 33—38.

331. О равноправии положительных и отрицательных чисел. — Вопросы философии, № 6, с. 55—58.

332. Антисимметрия. Доклад на 7-й генеральной ассамблее Международного союза кристаллографов. М. 28 с.

333. Antisymmetry. Transl. from the Russian. M. 29 c.

334. Ред.: Growth of crystals / Transl. from the Russian. New York. Vol. 4. 200 p. / Совместно с Н. Н. Шефталем.

1967

335. Симметрия конечных фигур в современной интерпретации. — В кн.: Проблемы кристаллохимии минералов и эндогенного минералообразования. Л., с. 96—114.

336. Укрупнение зерен порошка сегнетовой соли, находящегося в собственном растворе, под действием колебаний температуры / Совместно с Н. В. Гордеевой. — Кристаллография, т. 12, вып. 2, с. 186—190.

337. Предисл. к кн.: Структура и свойства жидких кристаллов и высокомолекулярных веществ. Иваново, вып. 1, с. 5. / Совместно с Б. К. Вайнштейном.

1968

338. Ответ оппоненту на критику моей статьи «Световые волны с поперечными и продольными колебаниями». — Природа, 1966, № 6, с. 107, 108.

1969

339. Зарождение и рост кристаллов / Совместно с В. Ф. Парвовым. М. 70 с.

340. Antisymmetry. — In: Physics of the Solid State: Commemoration Volume to prof. S. Bhagavantam. London; New York, p. 1 —12.

341. Евграф Степанович Федоров: К 50-летию со дня смерти. — Кристаллография, т. 14, вып. 3, с. 387—392.

1970

342. Воспоминания о Евграфе Степановиче Федорове. — В кн.: Идеи Е. С. Федорова в современной кристаллографии. Л., с. 8—10.

1972

343. У истоков кристаллографии. М. 51 с.

344. Симметрия в науке и искусстве / Совместно с В. А. Копциком. 2-е изд., пер. и доп. М. 339 с.

345. О методике фотографического исследования кристаллов / Совместно с В. Ф. Парвовым. — В. кн.: Кристаллография и минералогия: Труды Федоровск. юбилейной сессии 1969 г. Л., с. 223—225.

346. О взаимосвязи между кристаллическим индивидом и кристаллической средой. — В кн.: Кристаллография и минералогия: Труды Федоровской юбилейной сессии 1969 г. Л., с. 25—28.

1973

347. То, что сохранила память: Воспоминания о С. И. Вавилове. — УФН, т. Ill, № 1, с. 179—181.

348. Ред.: Леммлейн Г. Г. Морфология и генезис кристаллов. М. 328 с.

1975

349. Symmmetry in Science and Art / Transl. from the Russian / New York; London, 420 p. / Совместно с В. А. Копциком.

350. Избранные труды по кристаллографии. М. 551 с.

1981

351. То, что сохранила память. — В кн.: Сергей Иванович Вавилов: Очерки и воспоминания. М., с. 149—151.

Литература

1. Алексей Васильевич Шубников / Сост. Г. Г. Леммлейн. М. 1941. 24 с. (Материалы к библиографии трудов ученых СССР. Сер. кристаллогр.; Вып. 2).

2. Шубников А. В. Симметрия. — Наука и жизнь, 1941, № 3, с. 54.

3. Вавилов С. И. Выдающиеся физики. — Правда, 1946, № 280, 25 ноября.

4. Чествование чл.-корр. А. В. Шубникова. — Вест. АН СССР, 1947, № 6, с. 78—80.

5. Беляев Л. М. Чествование чл.-корр. АН СССР А. В. Шубникова в связи с его шестидесятилетием. — Изв. АН СССР. Сер. физ., 1947, № 11, № 3, с. 328—381.

6. Александровский А. Текстуры профессора Шубникова. — Техника молодежи, 1947, № 9, с. 12.

7. Работы академиков, членов-корреспондентов и научных сотрудников Академии наук СССР, удостоенные Государственных премий за 1946 год. — Вести. АН СССР, 1947, № 7, с. 16; Шубников А. В. Пьезоэлектрические текстуры. М.; Л. 1946. 99 с.

8. Шепель В. В. Физики — лауреаты государственных премий. — УФН, 1949, т. 39, вып. 4, с. 506, 507.

9. Сивухин Д. В. О кн.: Шубников А. В. Оптическая кристаллография. М.; Л., 1950. 276 с. — Сов. книга, 1952, № 7, с. 16—19.

10. Nicolle J. En lisant les livres de l'academicien Choubnikov. — Parallel 50, 1951, N 247, 14 VI, p. 4.

11. Петров В. П. О кн.: Шубников А. В. Оптическая кристаллография. М.; Л., 1950. 276 с. — Сов. книга, 1952, № 7, с. 19—21.

12. Аншелес О. М. О кн.: Шубников А. В. Симметрия и антисимметрия конечных фигур. М., 1951. 172 с. — Зап. Всесоюз. минерал, об-ва, Сер. 2. 1953, ч. 82, вып. 2, с. 150—154.

13. Воронцова Л. Передовой ученый. — Веч. Москва, 1953, № 43, 20 февр.

14. Шубников Алексей Васильевич: Краткая биография. — Вести. АН СССР, 1953, № 12, с. 65.

15. Алексей Васильевич Шубников: К 70-летию со дня рождения. — Кристаллография, 1957, т. 2, вып. 1, с. 5—8.

16. Шубников Алексей Васильевич. — В кн.: БСЭ. 2-е изд., 1957, т. 48, с. 220.

17. Шубников Алексей Васильевич. — В кн.: Биографический словарь деятелей естествознания и техники. М., 1959, т. 2, с. 398.

18. Шубников Алексей Васильевич. — В кн.: МСЭ. 3-е изд., 1961, т. 10, с. 666.

19. Лауреат премии имени Е. С. Федорова. — Экой, газета, 1962, № 2, 8 янв., с. 3.

20. Megaw H. D. Shubnikov A. V. Principles of optical crystallography.

New York, 1960. 188 p. — Phil. Mag., 1962, vol. 7, N 75, p. 533.

21. Shubnikov Alexei Vasilyevich. — In: Who's who in Soviet science and technology / Compl. J. Ph. D. Telberg. 2nd ed., rev., enlarged. New York, 1964, p. 191.

22. Шубников Олексш Васильевич. — Укр. рад. енц., 1964, т. 16, с. 393.

23. Алексей Васильевич Шубников. — Кристаллография, 1967, т. 12, вып. 2, с. 179.

24. К 80-летию со дня рождения А. В. Шубникова: Специалист в области

кристаллографии: Беседа с акад. А. В. Шубниковым / Зап.

В. А. Копцик. — Кристаллография, 1967, т. 12, вып. 2, с. 180—185.

25. Академик А. В. Шубников — Герой Социалистического Труда.— Вести. АН СССР, 1967, № 6, с. 128, 129.

26. А. В. Шубников: Кристаллограф: К 80-летию со дня рождения. — Акуст. журн., 1967, т. 13, вып. , с. 468—469.

27. Вайнштейн Б. КФридкин В. М., Шувалов Л. А. Алексей Васильевич Шубников: К 80-летию со дня рождения. — УФН, 1967, т. 92, вып. 3, с. 539, 540.

28. Академик Костов Ив. Алексей Васильевич Шубников. — Природа Болгарской Акад. наук, София, 1967, № 5, с. 107, 108.

29. The Eightieth Birthday of A. V. Shubnikov. Trans. Russian. — Kristallografiya, 1967., vol. 12. Soviet Physics. — Crystallography Amer. Inst. Physics Inc., 1967, vol. 12, N 2, p. 149—153.

30. Академик А. В. Шубников. — Вести. АН СССР, 1970, № 7, с. 98.

31. Алексей Васильевич Шубников. — Кристаллография, 1970, т. 15, вып. 4, с. 621, 622.

32. Белов Н. В., Вайнштейн Б. К., Пинскер З. Г., Фридкин В. М., Шувалов Л. А. Алексей Васильевич Шубников. — УФН, 1970, т. 102, вып. 3, с. 519—520.

33. Академик А. В. Шубников. — Правда, 1970, № 119, 29 апр.

34. Академик А. В. Шубников. — Известия, 1970, № 102, 29 апр.

35. Shubnikov Alexei Vasilyevich. — In: The International who's who 32nd ed. 1968—69. London, 1968, p. 1213.

36. Shubnikov Alexei Vasilyevich. — In: The International who's

who. 33st ed. 1969—1970. London, 1969, p. 1368—1369.

37. Shubnikov Alexei Vasilyevich. — In: World who's who in science: From antiquity to the present / Ed. A. G. Debus. Chicago, 1968, p. 1542.

38. Smolensky L. A., Zhdanov G. S., Shuvalov L. A. In memory of Academician A. V. Schubnikow. — Ferroelectrics, 1970, vol. 1, N 4 p 191 — 193.

39. Suvalov L. A. Zemrel A. V. Subnikov. — Ceskosl. casop fys 1970 vol. 20, N 6, s. 695—696.

40. Belov N. V., Vainshtein B. K. Alexey Vasilyevich Shubnikov (1887—1970) Obituary. — J. Appl. Crystallogr., 1970, vol. 3, N 6, p. 551—552.

41. Shubnikov Alexei Vasilyevich. — In: The International who's who. 34th ed. 1970—1971. London, 1970, p. 1471.

42. Wyart J. A. V. Schubnikov (1887—1970). — Bull. Soc. Franc. Mineral., Cristallogr., 1971, vol. 94, N 2, p. 7.

43. Шафрановский И. И., Франк-Каменецкий В. А. Роль А. В. Шубникова в развитии минералогической кристаллографии. — Зап. Всесоюз. минерал, об-ва, 1971, ч. 100, вып. 1, с. 61—65.

44. Шефталь Н. Н. О причинах образования двойников прорастания: Памяти А. В. Шубникова. — Кристаллография, 1971, т. 16, вып. 2, с. 394—399.

45. Шефталь Н. Н. Алексей Васильевич Шубников. — В кн.: Рост кристаллов. 1972, М., т. 9, с. 273—276.

46. Алгебра гармонии: О книге А. В. Шубникова и В. А. Копцика «Симметрия в науке и искусстве». — Книжное обозрение, 1972, № 11, с. 4.

47. Белов Н. В. Школа жизни великого кристаллографа. — Кристаллография, 1973, т. 18, вып. 2, с. 437—439.

48. Рец. на кн.: Шубников А. В. У истоков кристаллографии. М. 1972. 52 с. — Химия и жизнь, 1973, № 1, с. 90.

49. Лев Ф. Рец. на кн.: Шубников А. В., Копцик В. А. Симметрия в науке и искусстве. М., 1972. 340 с. — Новый мир, 1973, № 4, с. 275— 277.

50. Олева С. Жизнь, посвященная кристаллу. — Моек, ун-т, 1973, No 1971, 18 мая.

51. Китайгородский А. И. Почти все о симметрии: Рец. на кн.: Шубников А. В., Копцик В. А. Симметрия в науке и искусстве. М., 1972. 340 с. — Природа, 1973, № 5, с. 119—120.

52. Основателю советской кристаллографии. — Вечерняя Москва, 1973, 23 апреля.

53. Копцик В. А. Открыта ли формула красоты? — Комсомольская правда, 1973, № 153, 1 июля.

54. Памяти академика А. В. Шубникова. — Московская

правда, 1973, 26 апреля.

55. Белов Н. В., Шафрановский И. И., Франк-Каменецкий В. А. О книге А. В. Шубникова и В. А. Копцика «Симметрия в науке и искусстве». — Зап. Всесоюзн. минерал, об-ва, 1974, ч. 103, № 4, с. 501—503.

56. Шаскольская М. П., Классен-Неклюдова М. В., Беляев Л. М. и др. Воспоминания об Алексее Васильевиче Шубникове: К пятилетию со дня смерти. — Кристаллография, 1975, т. 20, вып. 2, с. 462— 471.

57. Проблемы современной кристаллографии. М., 1975. 399 с.

58. Вайнштейн Б. К. Алексей Васильевич Шубников. — В кн.: Проблемы современной кристаллографии. М., 1975. 399 с.

59. Цинзерлинг Е. В., Шефталь Н. Н., Делоне Б. Н. и др. Воспоминания об А. В. Шубникове. — В кн.: Проблемы современной кристаллографии. М., 1975, с. 377—397.

60. О научной деятельности А. В. Шубникова. — В кн.: Шубников А. В. Избранные труды по кристаллографии. М., 1975, с. 1—6.

61. Библиография трудов А. В. Шубникова. — В кн.: Шубников А. В.

Избранные труды по кристаллографии. М., 1975, с. 534—549.

62. Козловский М. И., Бурнакова В. И., Мелентьев И. И. Электрическое поле и кристаллизация. Кишинев, 1976. 96 с.

63. Сонин А. С. Предисловие. — В кн.: Беседы о кристаллофизике. М., 1976, с. 4.

64. Копцик В. А. Взгляды Алексея Васильевича Шубникова на кристаллографию и кристаллофизику: К 90-летию со дня рождения. — Кристаллография, 1977, т. 22, вып. 3, с. 667—670.

65. Шубников Алексей Васильевич. — В кн.: БСЭ. 3-е изд. Т. 29, с. 510.

66. Шубников Алексей Васильевич. — В кн.: Сов. энцикл. словарь. М., 1980, с. 1538.

1 р. 20 к.

«НАУКА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ
ОТДЕЛЕНИЕ

Утверждено к печати Редколлегией серии «Научно-биографическая литература»
Издательство «Наука», 1984 г.